



Agosto 2012 No. 6

AÑO DEL MURCIÉLAGO

Murciélagos nectarívoros y cactos columnares

Rabia en México en perros y animales silvestres

El mundo acústico de los murciélagos

Reseña de tesis: *Fouquieria shrevei* de Cuatro Ciénegas



Los ciclos de *Seminarios Fronteras en Ecología y Evolución* han sido organizados desde hace cuatro años. Estos ciclos tienen la finalidad de acercar a la comunidad del Instituto de Ecología, y a personas interesadas, al trabajo de investigación de frontera que se hace en otras instituciones nacionales y extranjeras.

Este año, los *Seminarios Fronteras en Ecología y Evolución 2012*, tendrá visitantes de Estados Unidos, Alemania, Canadá, Argentina y España.

Todos los seminarios son transmitidos por internet en tiempo real.

Oikos= es una publicación periódica del Instituto de Ecología de la UNAM. Su contenido puede reproducirse, siempre y cuando se cite la fuente y el autor. Dirección: Circuito Exterior S/N, anexo Jardín Botánico, C.U., Del. Coyoacán, C.P. 04510. México, D.F. Www.web.ecologia.unam.mx. Cualquier comentario, opinión y correspondencia, favor de dirigirla a: difusion@ecologia.unam.mx, al Apartado Postal 70-275, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, México, D.F., o a los faxes: (52 55) 5616-1976 y 5622-8995. Con atención a: Programa de Difusión del Instituto de Ecología, UNAM.
La opinión expresada en los artículos es responsabilidad del autor.









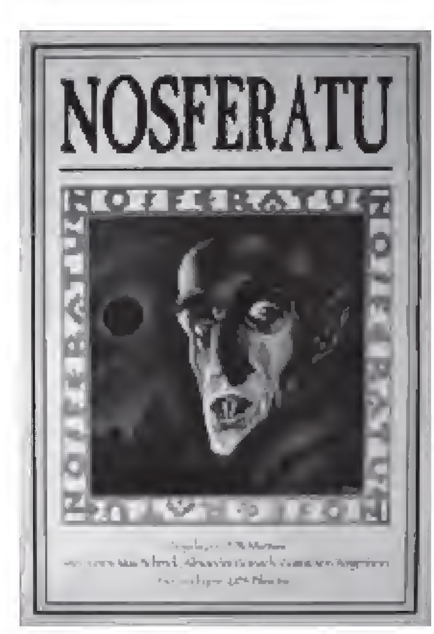


Editorial

De la ficción del Nosferatu a la realidad de los murciélagos

César Domínguez y Luis Eguiarte

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y EUROBATS han decretado el 2012 como el "Año del Murciélago". El Instituto de Ecología se une a esta bien merecida celebración dedicando éste número de *Oikos=* a esos habitantes de la noche, los murciélagos. Estos fascinantes animales, durante mucho tiempo incomprendidos y que han inspirado multitud de leyendas, son en realidad piezas fundamentales en el funcionamiento de las comunidades naturales y prestadores de importantes servicios ambientales para el hombre. Esperamos que este número de *Oikos=* ayude a cambiar la percepción negativa que existe sobre los murciélagos. Probablemente esta fue inspirada en una de las adaptaciones más fascinantes del mundo natural, el hábito de comer sangre que presentan unas pocas especies, y promovida por la exitosa novela que Bram Stoker escribiera hace ya 115 años sobre el muerto viviente que se alimentaba de sangre, Drácula y quien fuera inmortalizado en *Nosferatu*, famosa película estrenada en 1922.



Cartel de la película Nosferatu estrenada en marzo de 1922. Imagen: http://deanguelo.blogs.com/chocolateblog/

Más allá de las leyendas y el folclore, existe un enorme cúmulo de información que respalda la importancia ecológica, económica y sin duda evolutiva, de estos animales. Por ejemplo, hay varias cuevas en México que contienen millones de murciélagos cada una, cada millón de estos destruye 10 toneladas de insectos cada noche. Asimismo, los murciélagos juegan un papel importante como polinizadores y dispersores de los frutos y las semillas de muchas especies de plantas silvestres y cultivadas, y pueden jugar un papel relevante como reservorios y transmisores de enfermedades como la rabia.

Por otra parte, los murciélagos constituyen un ejemplo sobresaliente de radiación adaptativa. A partir de un origen relativamente reciente hace unos 60 millones de años, los murciélagos han radiado para dar origen a más de 1,200 especies, alrededor de un cuarto de todos los mamíferos que existen actualmente. Es entonces pertinente preguntarse ¿por qué hay



FOTO DE PORTADA: *Vampyressa pusilla*. A. Menchaca.





tantas especies de murciélagos? Además de la respuesta obvia de ser los únicos mamíferos que realmente han dominado el vuelo, los murciélagos tiene otras adaptaciones fascinantes entre las que está su sofisticado sistema de ecolocalización que funciona como un sonar y les permite orientarse y encontrar su alimento en la obscuridad. Adicionalmente, tienen adaptaciones fisiológicas y morfológicas que les han permitido colonizar diferentes nichos alimenticios, por lo que es posible encontrar especies que se alimentan de insectos, ranas, peces, frutos, hojas y néctar, y en particular de sangre -- aunque solo tres especies tienen este último hábito.

Entre los principales especialistas en el estudio de murciélagos del mundo destaca el Dr. Rodrigo Medellín, investigador de este Instituto, que recientemente recibió el prestigioso premio *2012 Whitley Gold Award* que otorga la asociación *Whitley Fund for Nature* del Reino Unido, por sus esfuerzos por la conservación de los murciélagos en México y en América Latina. El Dr. Medellín es tal vez la persona que más sabe de murciélagos en México. Dada su trayectoria y conocimiento, le pedimos que contribuyera a este número con sus experiencias en el estudio de los murciélagos.

Por su parte, la contribución de la Dra. Ella Vázquez, investigadora del Instituto de Ecología, describe la gran diversidad de murciélagos, en particular de la isla de Cozumel, y de como los estudios moleculares han permitido descubrir como se organizan las poblaciones de una especie de murciélago frugívoro.

También usando marcadores moleculares, la M. en C. Ariadna Morales, describe la estructura genética de uno de los murciélagos insectívoros más comunes y abundantes de Norte América. Ella ha encontrado que las diferencias entre poblaciones se deben, aparentemente, a la variación en el nicho ecológico y a que, al contrario de lo que ocurre en la mayoría de los murciélagos, las hembras se dispersan mucho más que los machos.

Dentro de los murciélagos mexicanos, una especie en particular, *Leptonycteris yerbabuenae*, ha atraído mucha atención por ser la principal polinizadora de muchas cactáceas columnares, de la mayoría de los agaves y de diferentes árboles tropicales como las ceibas y del cazahuate. El Dr. Francisco Molina Freaner, investigador de la Estación Regional de Hermosillo de nuestro Instituto, nos platica de las complejidades de la polinización que realiza este murciélago en el noroeste del país. Por su parte, el M. en C. José Antonio Barba y la Dra. Susana Magallón, ambos del Instituto de Biología de la UNAM, resumen sus estudios sobre la filogenia de las cactáceas columnares y el posible papel coevolutivo de los murciélagos en la radiación de este grupo de cactáceas y de los agaves.

Las complejas dinámicas de una enfermedad mortal, la rabia, su historia en México y el papel de los murciélagos como reservorios y transmisores del virus, se discuten en la contribución del Dr. Andrés Velazco Villa, actualmente en el Center for Disease Control, Atlanta, EUA y la Dra. Valeria Souza de este Instituto.

Otro especialista mundialmente reconocido en el estudio de éste grupo, el Dr. Héctor Arita, actualmente investigador del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, nos ofrece un excelente ensayo sobre el descubrimiento de la ecolocalización y su funcionamiento.

Finalmente, este número lo completan la revisión de un libro sobre murciélagos y la reseña de una tesis reciente de un alumno de nuestro Instituto sobre una fascinante planta endémica de una pequeña región del desierto de Coahuila.

Esperamos que disfruten de la lectura de estos ensayos sobre las adaptaciones, la ecología y la diversidad de este fascinante y sin duda, importante grupo de organismos.

Dr. César A. Domínguez Pérez Tejada, director del Instituto, es investigador del Laboratorio de Interacción Planta Animal del Departamento de Ecología Evolutiva. Su trabajo se enfoca en biología evolutiva, en particular en la evolución de la sexualidad de las plantas y las interacciones bióticas.

Dr. Luis Eguiarte Fruns. Es investigador del Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental del Departamento de Ecología Evolutiva. Estudia la ecología y evolución de las plantas, bacterias y animales de México, usando marcadores genéticos.



Cómo ser biólogo desde la niñez y no morir en el intento

Rodrigo A. Medellín

El verdadero premio

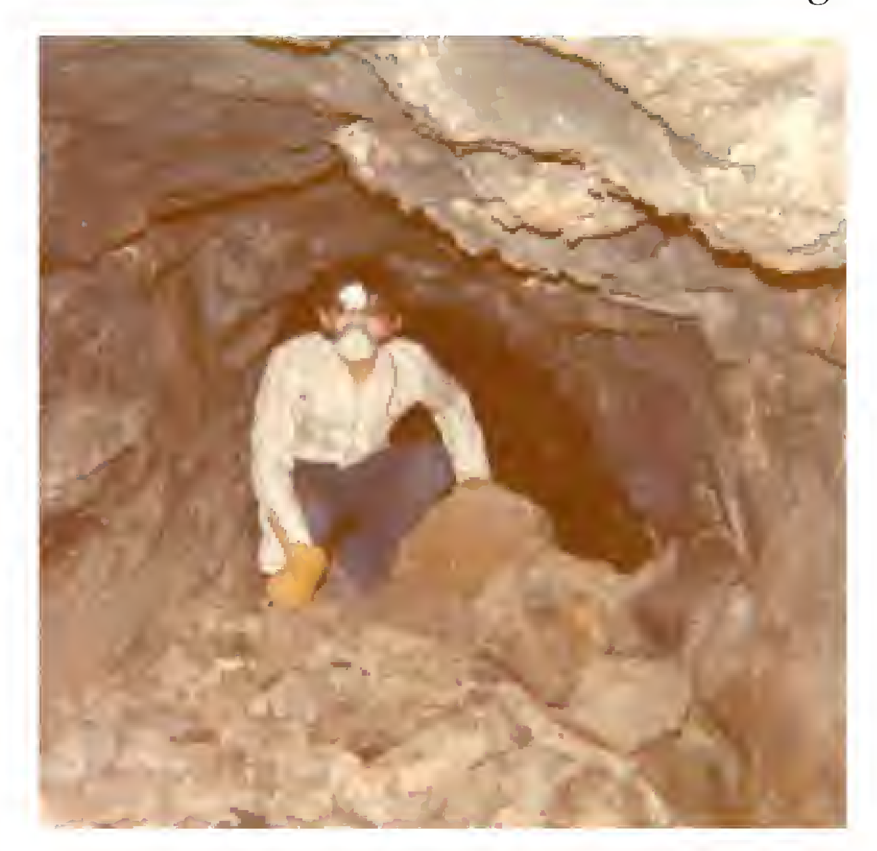
Desde que tengo memoria mi vida ha estado rodeada de animales. Y no me refiero a mi familia, a la que tanto quiero pero varios miembros de la cual a veces se dan a sí mismos ese mote, sino a una gran diversidad de animales de otras especies. Ya sea porque yo quería ir al zoológico o al campo, o porque siempre quería yo de regalo de cumpleaños o de navidad libros de animales, el caso es que toda mi vida ha transcurrido en compañía de animales. Cuando ya tuve algo más de uso de razón, a los once años, mi madre, atendiendo a mi interés pero temerosa por la clara negativa que seguramente recibiríamos, me llevó a entrevistarme con los productores del Gran Premio de los 64,000 pesos con Pedro Ferriz. Los productores cortésmente le informaron a mi mamá que el concurso sólo estaba abierto a adultos que tenían información de verdad que pudieran compartir con el público, y mi madre sólo respondió: háganle unas preguntas al niño y ustedes fórmense su propia opinión. Sacaron unos libros y empezaron a hacer preguntas a diestra y siniestra, que yo respondía con timidez pero con conocimientos, y entonces nos informaron que yo sería el primer niño concursante en el programa. Por supuesto, el primer sábado que me tocó presentarme ante las cámaras estaba yo temblando de miedo. De hecho, aún hoy, cuando recuerdo la cancioncita que ponían mientras el concursante "piensa" las respuestas, siento la panza llena de mariposas. Vale la pena aclarar que en ese momento no piensa uno en nada, más que en el terror de que el cerebro se vacía en un instante y no sabe uno qué decir. Literalmente, la respuesta le llegaba a uno (si llegaba), conforme Pedro Ferriz repetía la pregunta después del período de "concentración".

En fin, que las semanas iban y venían, cada una con un ligero avance en el concurso, y en una de esas, suena el teléfono en mi casa y la voz se identifica como el Dr. Bernardo Villa Ramírez, del Instituto de Biología de la UNAM. Quería hablar conmigo respecto a mi aparición en la tele. El doctor Villa fue muy amable y me invitó a visitar el Instituto para aprender algo más sobre mamíferos. En esos años, el Instituto de Biología estaba junto a la Facultad de Medicina, en lo que después se convertiría en el Instituto de Investigaciones Biomédicas. A mí me tocó ayudar en la mudanza al muy bonito y entonces flamante edificio del Circuito Exterior, junto a Ciencias del Mar, edificio que hoy es parte de ese Instituto. Todavía recuerdo los olores de los ejemplares y de los químicos que durante mi primera visita al Instituto, causaron una impresión indeleble en mí, al punto que aún los recuerdo como una mezcla de admiración, curiosidad y temor. El Dr. Villa me presentó a sus entonces estudiantes, José Ramírez Pulido y William López-Forment. William inmediatamente empezó a ametrallarme a preguntas con ese estilo jovial, entusiasta y bromista, pero con un profundísimo conocimiento que hasta la fecha lo caracteriza. Recuerdo que había una serie de pieles de mamíferos preparados como especímenes sobre una mesa, y que yo identifiqué a uno con el nombre común que yo, hasta entonces, conocía por los libros sudamericanos y españoles que había leído. Recuerdo que cuando pronuncié el nombre, extraño y desconocido, se produjo un silencio profundo, seguido de una gran carcajada colectiva iniciada por William. Desde ese momento, ese nombre fue mi apodo por muchos años. Aunque sé que muchos de los que lean este recuento saben exactamente a qué me refiero, la especie que reconocí en esa ocasión quedará aquí como una incógnita.

Casi inmediatamente, William me invitó a salir con él al campo. En esos años él se encontraba haciendo su trabajo para la tesis de Maestría en Puerto Marqués, Guerrero, y yo me convertí en uno de sus ayudantes. Salíamos en su camioneta Chevrolet 1950 (¡con paneles de madera de verdad! diría William muchas veces) con rumbo a Acapulco, yo volándome las clases de la secundaria con todo regocijo y pleno de curiosidad y hambre de aprender, él lleno de ideas, preguntas, retos y ganas de enseñarme sobre murciélagos y el mundo natural. Esos viajes en la camioneta que eventualmente fue reemplazada por la inefable VW Combi naranja, representan recuerdos que yo atesoro verdaderamente. Aprendí más en esas dos camionetas que en cualquier salón de clases. Camino a Acapulco en el primer viaje, William detuvo la camioneta en un paraje donde el Río Mezcala corre paralelo a la carretera, y me llevó a mi primera cueva.

Del Cañón del Zopilote y más

La Cueva del Cañón del Zopilote, como ha sido bautizada en las etiquetas de docenas de ejemplares depositados hoy en la Colección Mastozoológica del Instituto de Biología, es una profunda y amplia grieta que se abre en la pared oriental del propio Cañón, en la roca caliza característica de la región. La caminata a la cueva era agradable, breve, y yo la realicé con mucha anticipación y gran exaltación, preguntando miles de cosas a William sobre los murciélagos



El trabajo en algunas cuevas implica el uso de mascarillas para prevenir el contagio de histoplasmosis. Foto cortesía R. Medellín L.

que encontraríamos y sobre cómo los capturaríamos. Al llegar a la cueva, que tiene una altura de más de 30 metros en su cámara principal y la luz penetra con facilidad, vi mis primeros murciélagos: unas formas pequeñas y grises que se agitaban contra el techo de la cueva. William inmediatamente sentenció: son *Balantiopteryx plicata*. Después de unas cuantas maniobras con la red de mariposas, William con facilidad capturó otras dos especies, y me dejó manejarlos y conocerlos. Lo que yo sentí al tener mi primer murciélago en mi mano enguantada fue algo indescriptible; estaba completamente feliz, lleno de preguntas y observaba cada detalle, cada forma del animal. Al observar al animal de grandes orejas y ojos obscuros atrapado en mi mano, me inundaba un sentimiento de euforia, mientras luchaba por memorizar cada detalle e intentaba reconocer la especie de aquel, mi primer *Macrotus waterhousii*. Pero lo que me erizó la piel fue primero sentir la vida del murciélago luchando contra mi mano y luego poder verlo irse volando cuando la abrí para dejarlo ir. Pero también en ese momento sentí una gran admiración por estos animales que para mi mente de 12 años, eran misteriosos pero me provocaban miles de interrogaciones a las que desde entonces me dedico. Cuando hoy, 40 años después de ese primer viaje, capturo algún murciélago o lo manipulo, me encuentro con que mis sentimientos no han cambiado. Todavía me entusiasman muchísimo y cada vez que veo un murciélago me sigo asombrando y sigo haciéndome preguntas, muchas más de las que podré responder en mi vida. Hoy, con ayuda de alumnos y colegas, continúo este viaje que inició hace cuatro décadas y que aún me sigue causando un sentimiento de gran satisfacción, asombro, felicidad y curiosidad.

En nuestras visitas a Puerto Marqués colocábamos redes en unos viveros de mango en el poblado de La Poza, hoy plagado de condominios y desarrollos turísticos irracionales. En una ocasión habíamos colocado unas seis redes para atrapar murciélagos y William se fue a cenar y me dejó a cargo de ellas. Al caer el sol empezaron a volar murciélagos zapoteros gigantes (*Artibeus lituratus*) en grandes números, y pronto comenzaron a caer en las redes. Era mi segundo o tercer viaje y mi experiencia sacando murciélagos de las redes era muy limitada. Ahora sé que los gritos del primer *Artibeus*



Puerto Marques era un sitio sin infraestructura urbana rodeado de selva tropical seca. Foto cortesía de C. Adame O.

atraen a más de ellos, así que cuando yo los intentaba sacar de la red, el ruido atraía a más y caían muchos más, con el resultado de que en unos minutos la red tendría unos quince animales, todos luchando y todos dispuestos a pegar de mordiscos a cualquier cosa que se acercaba. Mi desesperación, zozobra y miedo iban en aumento de manera exponencial. Para acabarla, con los nervios, me descuidé y un murciélago al que intentaba sacar de la red, me mordió el dedo pulgar, atravesando el guante y mi uña con sus poderosos caninos. El dolor y la sangre brotaron de inmediato, ¡y el murciélago no soltaba mi dedo! Con todo aquello, me solté a llorar, intentando sacar a los murciélagos de la red sin mucho (ni poco) éxito. Al final, decidí tumbar los postes y poner la red con los murciélagos sobre el suelo. Cuando llegó William intenté armarme de valor, sin lograrlo, por supuesto. William me regaño muy fuerte y decidí ganar experiencia sacando murciélagos para no volver a exponerme. ¡De ninguna manera me dejaría vencer por una red llena de murciélagos!

Bichos en casa

Un par de semanas después de mi primer viaje a Guerrero, caí enfermo con lo que todos pensamos fue una gripe severísima con mucha fiebre y una tos tenaz. Después supimos que eso fue una infección de histoplasmosis que se resolvió por sí misma.

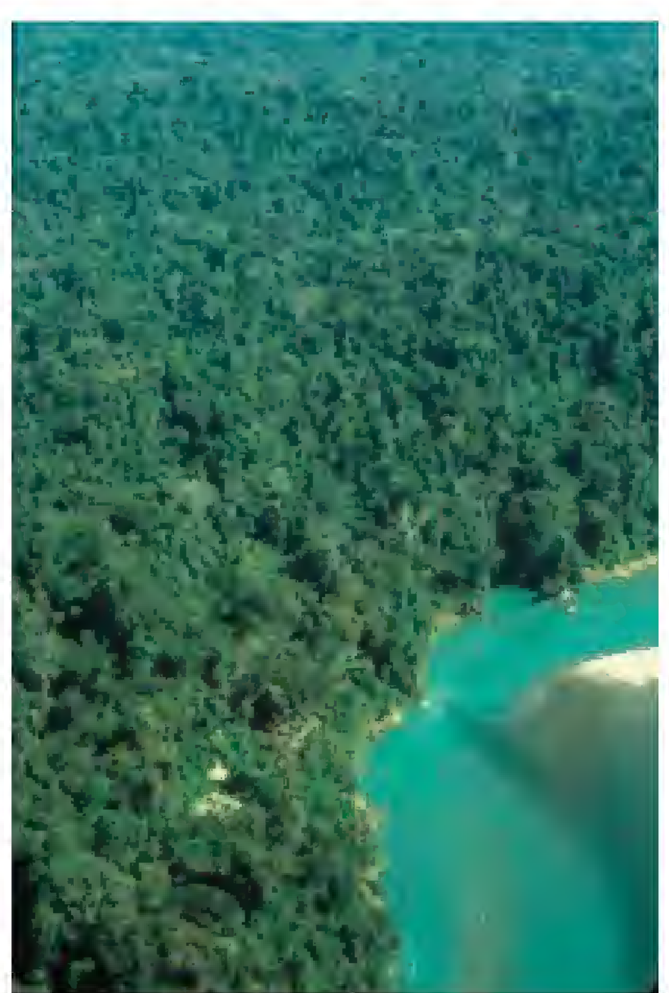
Con el tiempo, me llevaba yo a la casa de mis padres todo tipo de bichos, desde murciélagos de muchas especies hasta serpientes, amblipígidos, escorpiones, lagartijas, ranas, ratones y mucho más, que eran la desesperanza y ejercicio de paciencia de mis padres y hermanos. Eventualmente mantuve en el baño de la casa un grupo de murciélagos hematófagos, que al comer salpicaban las paredes con sangre, dándole un aspecto como de película de Hitchcock. También tuve murciélagos frugívoros cuyo comportamiento social y alimenticio hacían que el baño eternamente tuviera olores, digamos, no muy característicos del baño de una casa. En la tina, ocasionalmente ponía yo serpientes, con las consecuentes reacciones de la familia y de la señora que ayudaba en casa.

La Lacandona

Años después, en 1981, por fin pude visitar la Selva Lacandona, un templo misterioso y prometedor para cualquier estudioso de la biología, incluidos los murciélagos. Las noches capturando murciélagos en la selva (bueno, y en cualquier otro ecosistema), siempre han sido para mí una fuente constante de felicidad y de aprendizaje. Aún hoy, el colocar redes en compañía de mi familia, de mis alumnos y colegas, o incluso en solitario, siempre me hace sentir anhelo, curiosidad, y al acercarme a un murciélago recién caído en la red, no puedo reprimir unas irrefrenables ganas de saber qué especie es, en qué estado se encuentra y de in-



Las cuevas son el principal refugio de los murciélagos, por lo que gran parte de la investigación se tiene que hacer en ellas. Foto C. Equihua Z.



Hasta hace unos 15 años, la única manera de llegar a la región lacandona era por aire. Foto C. Equihua Z.

mediato empiezo a observarlo para continuar aprendiendo. No cabe duda de que los viajes al campo a observar, estudiar o capturar murciélagos u otras especies, siempre me llenan de energía, de entusiasmo y de empuje para seguir avanzando en este camino que me escogió a mí, más que yo a él.

En la Lacandona en las primeras salidas capturé murciélagos que nunca había visto y que me provocaban mucha curiosidad. Extraje mucha información de aquellas visitas y eso sigue brindándome el empuje y las ganas de seguir aprendiendo. Mucho de mi trabajo de investigación sigue siendo en esa región.

Hoy me sigo sintiendo como un niño de 12 años que quiere comerse el mundo a puños, que quiere conocer y aprender y proteger a la biodiversidad. Me considero uno de los seres más afortunados que conozco, por poder dedicarme a lo que me apasiona, por poder transmitirles a otros esta pasión y esta curiosidad y por poder hacerlo desde un recinto como la UNAM, como la que no existe otra institución en el mundo. Si encima de ello agregamos que mi familia, primero mis padres y hermanos, y hoy mi esposa e hijos, siguen reaccionando con paciencia, comprensión y tolerancia a mis arranques apasionados y entusiastas al mostrarles un murciélago u otro animal, pues debo confesar que mi felicidad es completa.

Con el paso de los años, y después de haber trabajado de ayudante de campo de William y de haber sido colector de la colección de mastozoología del Instituto de Biología de la UNAM, llegó el momento de ampliar mis horizontes. Con una beca de CONACYT bajo el brazo me fui a hacer mi posgrado, en compañía de mi inefable aliada Clementina. Decidimos irnos a Florida porque ahí se conjuntaban los intereses de los dos. Yo quería ampliar mi abanico para no encasillarme en estudios que solamente se enfocaran en murciélagos, y me convertí en alumno de John F. Eisenberg. Desde entonces y a la fecha sigo convencido de que fue mi mejor opción. En la Universidad de Florida, en Gainesville, John y el resto de mis profesores me enseñaron a acrecentar mis horizontes, a plantear preguntas y a crecer profesionalmente. Un desarrollo más que me abrió más posibilidades.

En la UNAM

Cuando durante mi trabajo de campo en la Lacandona me encontraba con una huella de jaguar, mi emoción era difícil de contener y así lo comunicaba yo a todo aquel que quisiera escucharlo. Tanto, que así nombramos al blog de mi laboratorio: La Huella del Jaguar. Al volver a México, entonces Centro de Ecología, me contrato como investigador. Ya tenía yo los instrumentos para dedicar mi vida a lo que desde muy niño me apasionaba: el estudio y conservación de los animales.

Hoy, mi trabajo es plantearme preguntas sobre ¿por qué México tiene la biodi-



Personal del Laboratorio de Mastozoología del instituto de Biología, UNAM en 1979. Foto cortesía F. Cervantes R.

versidad que tiene?, ¿porqué esta o aquella especie tiene esas características?, ¿qué factores determinan que un murciélago migre o no migre? o ¿qué papel juegan los murciélagos en los ecosistemas que habitan? Además me gusta compartir las respuestas de lo que encuentro en mi investigación para que los mexicanos se enteren de la importancia de conservar las maravillas naturales que viven en nuestro territorio y más allá. Me entusiasma ver en los ojos de mis estudiantes las ganas de aprender, escuchar sus preguntas y observar sus esfuerzos y su proceso de crecimiento.

Para acabar, disfruto pensar que mi trabajo llegue a influir en la toma de decisiones para proteger nuestra biodiversidad, es razón de mucho peso para poder mantener mi felicidad plena y con muchas ganas de seguir aprendiendo y asombrándome de cada nuevo hallazgo.

Para saber más

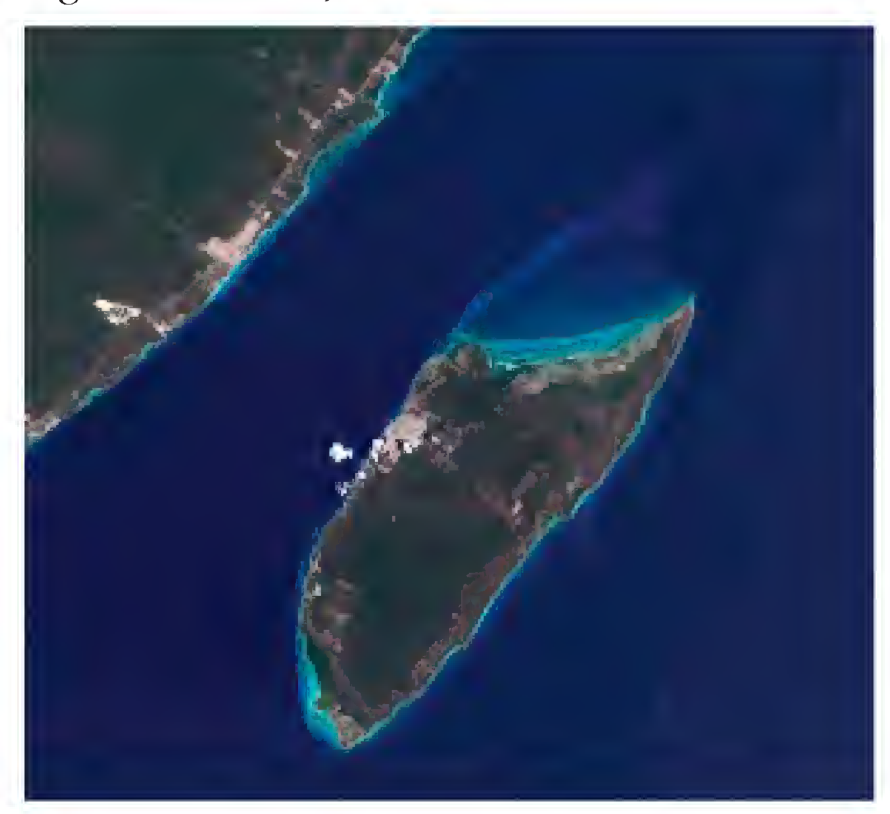
- Cleveland, C. J., M. Betke, P. Federico, J.D. Frank, T.G. Hallam, J. Horn, J.D. López Jr., G.F. McCracken, R.A. Medellín, A. Moreno-Valdez, C.G. Sansone, J.K. Westbrook y T.H. Kunz. 2006. Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bats in south-central Texas. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4: 238–243.
- Medellín, R.A., M. Equihua y M. A: Amín. 2000. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in neotropical rainforests. *Conservation Biology*, 14: 1666-1675.
- Melo, F.P.L., B. Rodríguez-Herrera, R. L. Chazdon, R. A. Medellín, G.G. Ceballos. 2009. Small Tent-Roosting Bats Promote Dispersal of Large-Seeded Plants in a Neotropical Forest. *Biotropica*, 41: 737-743.
- Medellín, *et al*. 2001. *El jaguar en el nuevo milenio*. Fondo de Cultura Económica.

Dr. Rodrigo Medellín L. Es investigador del Laboratorio de Ecología y Conservación de vertebrados del departamento de la Ecología de la Biodiversidad. Investiga sobre la ecología y conservación de vertebrados terrestres de México y de Latinoamérica. Su trabajo ha sido reconocido con numerosos premios nacionales e internacionales.

Cozumel y sus murciélagos una joya de biodiversidad

Ella Vazquez-Domínguez

Desde siempre, las islas y sus animales y plantas han fascinado a propios y extraños, naturalistas, ecólogos y biólogos evolutivos. Son reconocidas como tesoros de biodiversidad, pero no se debe a su alto número de especies de flora y fauna -- como sucede en una selva tropical -- sino porque tienen un alto porcentaje de especies endémicas, especies que sólo se encuentran en ese lugar del mundo, o sea sólo en una u otra isla.



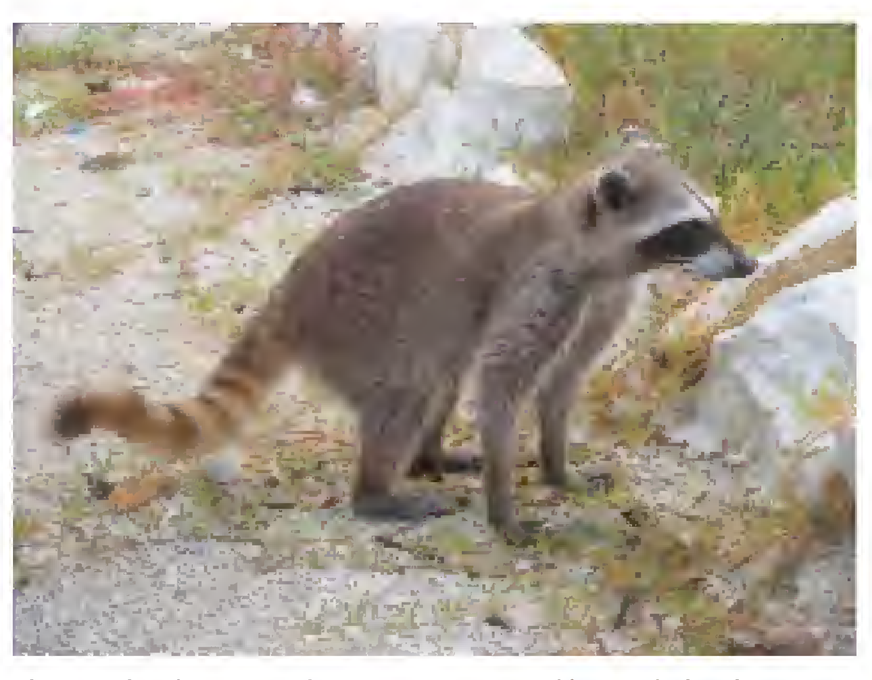
Cozumel es una isla poco desarrollada que todavía conserva gran parte de su vegetación original. Al norte es donde se encuentra la mayor extensión de manglares. Imagen NASA.

Las islas tienen condiciones particulares que provocan que su número de especies sea bajo, por ejemplo que su área es reducida, que están separadas del continente, y que además han pasado por procesos de colonización y dispersión que son únicos.

Las islas se clasifican como oceánicas y continentales. Las primeras nunca han estado unidas al continente, como por ejemplo las islas de origen volcánico (como las Galápagos) o coralino. Las segundas se forman al separarse de tierra continental, como algunas islas del Golfo de California. Las especies de organismos en las islas normalmente se originan de unos pocos 'fundadores', los cuales llegaron del continente o de otras islas cercanas de manera natural, por ejemplo volando o como 'pasajeros' en troncos y vegetación. En contraste, cuando se separan las islas continentales llevan consigo algunas de las especies del continente. Finalmente, otras especies pudieron ser llevadas por el hombre intencionalmente (por ejemplo como mascotas), o de manera azarosa en sus embarcaciones (como las ratas).

Una isla de gran biodiversidad

La Isla Cozumel, en el estado de Quintana Roo en México, es una isla oceánica y la más grande del Caribe mexicano, con 486 km^2. El nombre Cozumel deriva del maya Cuzamil, 'tierra de baja altura, de golondrinas', la cual estuvo ocupada por los Mayas al menos desde 300 años a.C. Alberga una diversidad biológica única e impresionante, incluyendo cerca del 40% de la flora de todo el estado de Quintana Roo, 23 especies de anfibios y reptiles, 224 de aves, 15 de mamíferos terrestres y al menos 24 de murciélagos. Así, no debe quedar duda que Cozumel, contrario a lo común en islas, tiene una elevada diversidad biológica, especialmente de murciélagos. Para poner lo anterior en contexto, las siete islas del norte de las Antillas tienen, entre todas, sólo 11 especies de murciélagos, mientras que Jamaica, con un área veinte veces mayor



El mapache de Cozumel es una especie endémica de la isla. Foto E. Vázquez Domínguez.

que Cozumel (10,911 km^2), tiene alrededor de 22 especies. Más sorprendente aún es que entre 2005 y 2008, gracias a las nuevas tecnologías que permiten detectar, grabar e identificar los ultrasonidos (ver artículo de H. Arita, en éste número), aunada al trampeo con redes de niebla, nuestro grupo de trabajo obtuvo cinco nuevos registros, es decir cinco especies que no se conocían para la isla.

A falta de fruta… insectos

Una característica particular de Cozumel es lo marcado de sus estaciones, esto es la época de lluvias se concentra en pocos meses (generalmente de agosto a noviembre) y llueve intensamente. Además, los periodos de huracanes aportan más lluvia aún. El resto del año, sin embargo, es bastante seco, lo que provoca que un alto porcentaje de la vegetación pierda las hojas. Esta dinámica lluvias-secas, que se asocia directamente con periodos de abundancia y escasez de alimento, determina en gran medida la dinámica de las poblaciones animales. Por ejemplo, la estación en la que abundan los frutos provoca respuestas fisiológicas particulares en los murciélagos frugívoros, de tal manera que cuando hay poco alimento también hay pocos murciélagos, éstos tienen una baja tasa de actividad y de reproducción, y además se deteriora su condición física. Algunas especies pueden cambiar de dieta, por ejemplo si no hay frutos comen insectos.

Una de las especies más abundantes en Cozumel es el murciélago zapotero *Artibeus jamaicencis yucatanicus*, que es esencialmente frugívoro pero que, dependiendo de la disponibilidad de recursos, puede comer también insectos, flores, néctar y polen. Utiliza también una amplia gama de sitios de percha, ya sea en el follaje, en cuevas, en huecos de troncos y hasta en construcciones humanas. Todo ello le confiere ventajas y facilidad para moverse entre hábitats en la isla, y mantener así poblaciones relativamente grandes.



El murciélago zapotero que vive en Cozumel come frutas, pero cuando éstas escasean consume insectos. Foto E. Vázquez Domínguez.

Sólo una población de murciélagos

Nuestro grupo de trabajo hizo un estudio genético, el primero en especies de murciélagos de la isla, y encontramos que los individuos del murciélago zapotero forman una 'gran' población cozumeleña, es decir no forman subpoblaciones en las diferentes partes de la isla, como lo hacen otros animales. Esto se debe a que los individuos se mueven constantemente entre sitios y tipos de vegetación. En contraste, en el continente los individuos no se mueven tanto y es más común que formen grupos sociales pequeños. Otro resultado interesante es que este murciélago zapotero tiene alta diversidad genética, comparable a la de especies en otras islas con poblaciones mucho más grandes.

Es interesante también que el porcentaje de parentesco entre individuos es muy bajo, sólo el 14% tiene algún tipo de relación (padre-hijo, hermanos o medios hermanos), como sucede en las grandes ciudades de humanos. Diversos estudios han mostrado que los murciélagos zapoteros forman harenes, esto es, grupos formados por varias hembras y un macho dominante, el cual se aparea con ellas y las defiende de los machos satelitales. En estos grupos existe en consecuencia alto parentesco. Nuestros resultados son peculiares para la población de Cozumel y probablemente se debe a que los murciélagos se mueven mucho tanto dentro de la isla como hacia la costa este de la península de Yucatán.

Cozumel y el futuro de su biodiversidad

Como hemos mencionado, Cozumel es una joya de la biodiversidad debido al gran número de especies de animales y plantas que posee en general, y de murciélagos en particular, mayor que lo comúnmente encontrado en islas. En Cozumel además hay una historia ecológica y genética muy especial, en la que el murciélago



En Cozumel hay selva baja, que se caracteriza por tener vegetación muy densa y árboles de hasta 15 metros de altura. Foto E. Vázquez Domínguez.

zapotero *Artibeus jamaicencis yucatanicus* es un protagonista por su gran diversidad genética y a su comportamiento tan diferente comparado con su contraparte continental.

Es indudable que debemos conservar el inmenso tesoro de biodiversidad que representa la flora y fauna de Cozumel, tanto a nivel de su riqueza de especies, como su riqueza ecológica y genética. Sin embargo, hasta hace pocos años, Cozumel había logrado mantener una densidad poblacional humana constante y una densidad hotelera y de instalaciones turísticas moderada, que favorecía una relación equilibrada entre la naturaleza y el ser humano. Bajo dichas condiciones, se había logrado mantener entre el 70 y el 90% de la isla con vegetación natural y poca perturbación y, en consecuencia, conservar también su biodiversidad. Desafortunadamente, en la última década se ha incrementado de manera alarmante el cambio de uso de suelo y la tala de vegetación para construir infraestructura, inmuebles, carreteras y desarrollar la ganadería. La pérdida de hábitat, aunado a las especies exóticas introducidas en la isla como perros, gatos y boas, está teniendo un efecto grave sobre las poblaciones de flora y fauna naturales.

A lo largo de 15 años, nuestro grupo ha registrado una disminución de más del 70% de las poblaciones de roedores, mamíferos medianos y de varias especies de aves. Existen además muchas especies de las cuales todavía no tenemos información suficiente que permita hacer una estimación correcta de su estado de conservación. Nuestro trabajo ha demostrado la urgencia de que en Cozumel se aplique un ordenamiento ecológico sustentado, para que el crecimiento urbano y turístico se haga de manera ordenada y con límites adecuados. Es indispensable contar con los decretos apropiados para la protección de las zonas terrestres con mayor biodiversidad. Si no logramos conservar la joya que representa la biodiversidad de Cozumel, muy pronto habremos de añadir especies cozumeleñas a la lista de especies que permitimos que se extinguieran en nuestro país … y para el mundo.



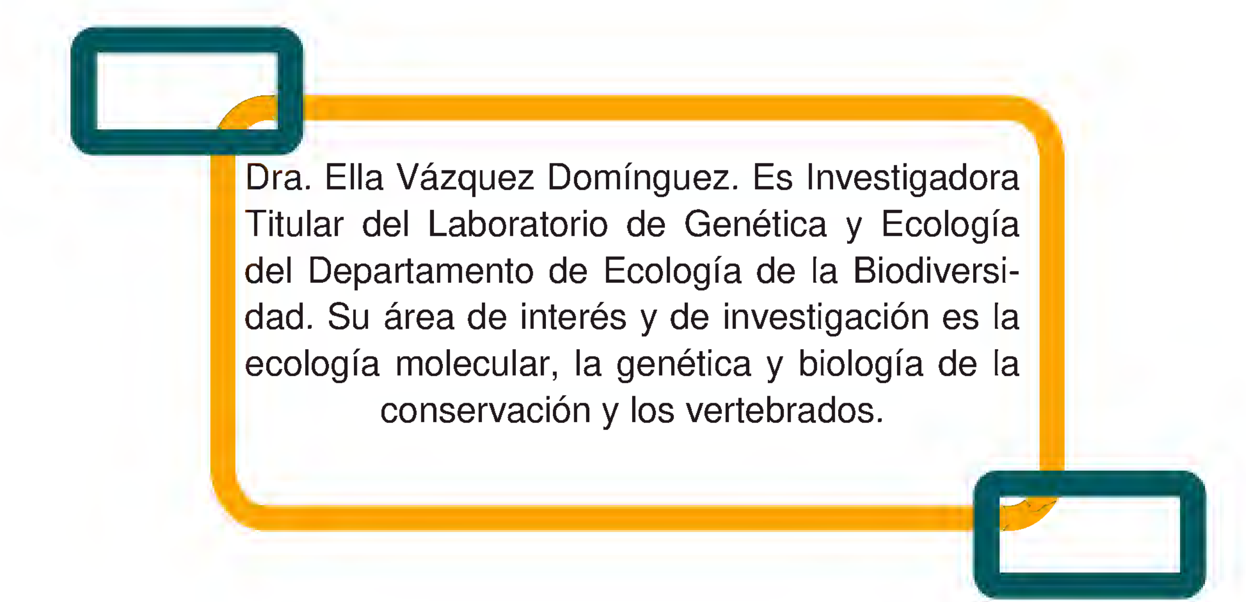


En Cozumel hay diversos ecosistemas, la selva y los cenotes son los más característicos. Foto E. Vázquez Domínguez.



Para saber más

- Cuarón A.D., et al. 2009. Conservation of the endemic dwarf carnivores of Cozumel Island, Mexico. *Small Carnivore Conservation*, 41: 15-21.
- Vega, R., E. Vázquez-Domínguez, A. Mejía-Puente, A.D. Cuarón. 2007. Unexpected high levels of genetic variability and the population structure of an island endemic rodent (*Oryzomys couesi cozumelae*). *Biological Conservation*, 137: 210-222. (doi: 10.1016/j.biocon.2007.02.007)
- Arturo Mendoza Martínez. 2011. Variabilidad y estructura genética del murciélago zapotero *Artibeus jamaicensis* en tres ecosistemas diferentes de la isla Cozumel. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, 68 p.
- Elisa Fuentes Montemayor. 2007. Efectos de borde provocados por caminos sobre las poblaciones de ratones endémicos de la Isla Cozumel. Tesis de Maestría, CIEco, UNAM, 72 p.



Bosques de cactos y magueyes: murciélagos nectarívoros del noroeste de México

Francisco Molina Freaner

Cada año, durante el invierno y la primavera, en el noroeste de México miles de cactáceas columnares y magueyes florecen. En esta región, los sahuaros (*Carnegiea gigantea*), cardones (*Pachycereus pringlei*), etchos (*Pachycereus pecten-aboriginum*), pitayas (*Stenocereus thurberi*) y varias especies de magueyes, como el maguey bacanora (*Agave angustifolia*) producen una gran cantidad de flores que por su tamaño, son visibles durante el día para los pobladores de la región. Estas flores abren en la noche y son visitadas por murciélagos nectarívoros y durante el día permanecen abiertas y también son visitadas por aves e insectos.

En esta región de México existen varias especies de murciélagos y aves que se alimentan del néctar y polen que producen estas flores, y en el proceso las polinizan. Entre las especies de murciélagos, destaca una especie que es migratoria, el murciélago magueyero *Leptonycteris yerbabuenae* y que visita la región desde las selvas secas del Pacífico, aprovechando la disponibilidad de recursos florales. Muchos de los individuos que migran son hembras gestantes que vienen a tener a sus crías en esta región y que regresan a las selvas secas cuando se acaban los recursos y sus crías ya crecidas pueden volar de regreso. Algunas de las cuevas que usa esta especie de murciélago son verdaderos refugios de maternidad, pues en ellas nacen sus crías.

Las flores de las especies de plantas mencionadas, abren por lo regular a partir de las ocho de la noche y permanecen abiertas hasta cerca del medio día del siguiente, en el caso de las cactáceas, y cerca de una semana, en el caso de los magueyes. Estas flores secretan un fluido rico en azúcares conocido como néctar, el cual es una recompensa para los organismos que las visitan. Los murciélagos visitan las flores durante la noche cuando las flores producen más néctar. De día, las flores secretan menos néctar, y son visitadas por aves como palomas, pájaros carpinteros y colibríes, así como por diferentes especies de abejas.

La eficiencia reproductiva es una medida del éxito reproductivo de las flores y se estima como el porcentaje de las flores que producen frutos. En el caso de las cactáceas columnares y magueyes de la región, la eficiencia reproductiva varía considerablemente entre especies y años, con valores que van desde 5% hasta cerca de 60%. Dado que las flores de estas especies permanecen abiertas durante la noche y parte del día, es posible evaluar experimentalmente la importancia relativa de los visitantes nocturnos y diurnos en la reproducción. Los experimentos son sencillos en teoría -- ¡aunque logísticamente pueden ser complicados en el campo, por el tamaño y las espinas de las plantas!--, y consisten en aislar a las flores de visitantes diurnos o nocturnos y evaluar la





Las flores del cardón y del sahuaro abren durante la noche y producen abundante néctar que es consumido por murciélagos. Fotos: F. Molina F.

importancia relativa de cada grupo de visitantes en la reproducción de las especies. Usando este enfoque se ha identificado que para algunas especies de magueyes, como el maguey bacanora, los murciélagos nectarívoros son los principales polinizadores y por tanto dependen de los murciélagos para reproducirse. En cambio, en algunas cactáceas columnares como el etcho, la evidencia disponible indica que los visitantes diurnos como las aves son más importantes que los murciélagos en la reproducción (ver artículo de J.A. Barba-Montoya en este número). En el noroeste de México, las flores de la mayoría de



Las aves son los visitantes más importantes de las flores de etcho. Foto: F. Molina F.

las cactáceas columnares permanecen abiertas más tiempo (hasta 20 horas) y secretan néctar durante la noche y buena parte de la mañana, mientras que en los ambientes más tropicales, las flores de las cactáceas columnares son casi exclusivamente nocturnas y duran sólo 10-12 horas. Este cambio en la longevidad de las flores de las cactáceas columnares ha sido interpretado como evidencia de que en la región del noroeste, los murciélagos nectarívoros son más impredecibles y por tanto las columnares han ampliado su longevidad floral para permitir la polinización por visitantes diurnos cuando los nocturnos no son abundantes.

Se cree que el estatus migratorio del murciélago nectarívoro más importante del noroeste y la variabilidad espacio temporal de su abundancia, hacen más impredecibles a los visitantes nocturnos. Las flores de los cactos columnares han respondido a esta incertidumbre, ampliando su longevidad floral para permitir la polinización de visitantes diurnos y asegurar la reproducción. En esta región, los murciélagos nectarívoros son importantes en la reproducción de cactos y magueyes. Sin embargo, cuando los murciélagos nectarívoros no son abundantes, la reproducción de cactos columnares y magueyes depende más de las aves.



En el noreste de México, las flores de cactáceas, como el sahuaro, abren al anochecer y las visitan los murciélagos. Foto: F. Molina F.

La polinización es un servicio fundamental de los ecosistemas que permite la reproducción de las plantas y la regeneración de las especies. En el caso de los cactos columnares y los magueyes del noroeste de México, los murciélagos y las aves juegan un papel fundamental, al ser los responsables de la transferencia del polen entre plantas y la producción de frutos y semillas, una de las fases más críticas del ciclo de vida de estas especies. El establecimiento de nuevas plántulas y la regeneración de las especies dependen de la cantidad de semillas que se produzcan y su dispersión. Los frutos de los cactos son también consumidos por aves y murciélagos quienes también, desempeñan el papel de dispersores de semillas. Estos frutos además son muy apreciados por diversos grupos indígenas, quienes los consumen directamente o preparan diversos alimentos a partir de la pulpa y las semillas.

En resumen, los murciélagos nectarívoros juegan un papel importante en la polinización de los cactos columnares y los magueyes del noroeste de México, y por lo tanto en el mantenimiento de las poblaciones de estas fascinantes especies vegetales.



Para saber más

- Molina-Freaner, F. y L. Eguiarte. 2003. The pollination biology of two paniculate Agaves from northwestern México: contrasting roles of bats as pollinators. *American Journal of Botany*, 90: 1016-1024.
- Molina-Freaner, F., A. Rojas-Martínez, T.H. Fleming y A. Valiente-Banuet. 2004. Pollination biology of *Pachycereus pecten-aboriginum* in northwestern México. *Journal of Arid Environments*, 56: 117-127.
- Valiente-Banuet, A., F. Molina-Freaner, A. Torres, M.C. Arizmendi y A. Casas. 2004. Geographic differentiation in the pollination system of the columnar cactus *Pachycereus pecten-aboriginum*. *American Journal of Botany*, 91: 850-855.

Dr. Francisco Molina Freaner. Es investigador de la Unidad de Hermosillo del Departamento de Ecología de la Biodiversidad. Le interesa la genética de poblaciones y la evolución de los sistemas reproductivos de plantas del noroeste de México.





¿Porqué tantos cactos columnares? El papel de los murciélagos nectarívoros en su diversificación

José Antonio Barba-Montoya
y Susana Magallón Puebla

Los paisajes de gran parte de México están dominados por cactáceas columnares, como el saguaro (*Carnegiea gigantea*) y el viejito (*Cephalocereus senilis*) (ver artículo de F. Molina-Freaner en este número). Estas cactáceas pertenecen a la tribu Echinocereae, formando un grupo denominado técnicamente Pachycereeae-centrales, que vamos llamar en el artículo *cactáceas columnares*. La mayoría de las columnares viven en México, 124 de las 132 especies, el resto están distribuidas en Norteamérica, Centroamérica y el Caribe. La pregunta que queremos responder en éste ensayo es ¿Por qué hay tantas especies de cactos columnares?

Flores y polinizadores

Entre los posibles factores que han promovido la diversificación de éste grupo están las barreras geográficas que ocasionan el aislamiento reproductivo, sus diferentes adaptaciones relacionadas con la eficiencia de uso de agua y limitantes térmicas, las asociaciones mutualistas con diferentes tipos de polinizadores y dispersores.



Cephalocereus columna-trajani. Puebla, México. Foto J. A. Barba Montoya.



Stenocereus sp. de Sinaloa, México. Foto J. A. Barba Montoya.

En particular, en el grupo -- como en otras familias de plantas -- existe una relación entre las características de la flor y sus polinizadores. Estas características, denominadas síndromes de polinización, incluyen su longevidad, el tiempo de apertura, su color, forma y el tipo y cantidad del néctar. Los síndromes de polinización son considerados como atributos adaptativos que han evolucionado como resultado de presiones selectivas con los polinizadores, y que a su vez han afectado la misma evolución de los polinizadores, en un proceso llamado coevolución. De esta manera, las características florales de distintos tipos de plantas convergen en un cierto tipo de flor y de recompensa adecuados a un tipo particular de polinizador. Por otra parte, hay grupos de animales que dependen en mayor o menor grado de las flores para obtener su alimento, y que también presentan caracteres morfológicos convergentes para obtener recursos de las flores. Como resultado de dicha interacción, las flores pueden tener diferentes longitudes, formas y colores que atraen a tipos específicos de polinizadores.

Se ha propuesto que estas interacciones coevolutivas son una importante causa de la diversificación biológica. Por ejemplo, la

competencia entre plantas por polinizadores puede ocasionar que florezcan en momentos diferentes, y así promover el aislamiento reproductivo, el primer paso para la formación de nuevas especies y constituye así el origen de la diversificación.

Las interacciones planta-polinizador han sido relativamente poco estudiadas en las cactáceas. En general, aunque no en todos los casos, los síndromes de polinización de las cactáceas corresponden a sus polinizadores efectivos actuales. Los visitantes de las flores de las cactáceas columnares incluyen murciélagos, colibríes, aves percheras (por ejemplo, pájaros carpinteros y palomas), avispas, polillas y esfíngidos. Las flores polinizadas principalmente por murciélagos nectarívoros son muy comunes en las cactáceas columnares. Por la forma floral, y que las flores abren y producen néctar en la noche, se estima que alrededor del 70% de las especies de cactáceas columnares son polinizadas por murciélagos. Usualmente tienen flores robustas, de gran tamaño, con forma de embudo, y de color crema o blanco. Los polinizadores son atraídos por la forma, el color y el aroma de las flores. Éstas producen como recompensa por los servicios de polinización, grandes cantidades de polen y néctar, principalmente en el crepúsculo y la noche.

Polinización por murciélagos

Los murciélagos son importantes polinizadores de las cactáceas columnares y también son importantes dispersores de sus semillas. Adicionalmente, todos los murciélagos que visitan a las cactáceas presentan caracteres morfológicos que les permiten extraer el néctar de las flores. Además de las habilidades de vuelo acrobático de precisión, tienen orejas pequeñas, hocico largo y lengua larga.

Los murciélagos nectarívoros que polinizan a las cactáceas columnares forman parte de la subfamilia Glossophaginae que pertenece a la familia Phyllostomidae. Los integrantes de esta familia son conocidos como los "murciélagos del Nuevo Mundo" y como atributo distintivo tienen una hoja nasal. La familia Phyllostomidae es la segunda familia más grande de murciélagos, que incluye a más de 150 especies en 49 géneros. Los miembros de esta familia son neotropicales y se distribuyen desde



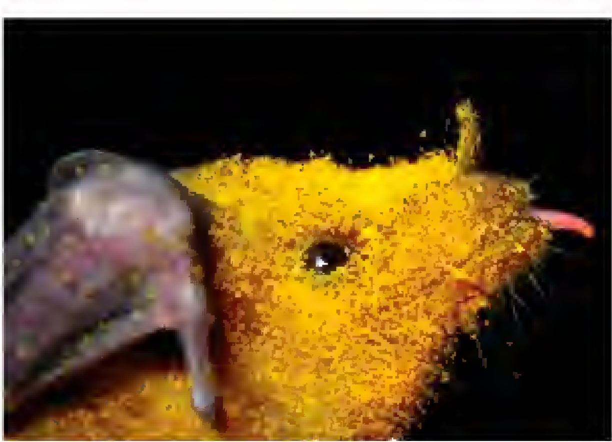
Murciélagos filostómidos que se alimentan de néctar y polen. Fotos R. Medellín L. y M. Tshchapka.

el Sur de Arizona hasta el norte de Argentina incluyendo las Antillas. Varían en tamaño de 40 a 130 mm de longitud. Los murciélagos nectarívoros habitan principalmente las zonas tropicales y subtropicales. Son pequeños y tienen la lengua muy larga y se mantienen en el aire volando mientras se alimentan, por lo que necesitan espacio para el movimiento de sus alas justo enfrente de las flores.

¿Coevolucionaron los murciélagos nectarívoros y las cactáceas columnares?

Con la finalidad de evaluar la existencia de una asociación evolutiva entre las cactáceas columnares y los murciélagos polinizadores, comparamos los tiempos de diversificación de ambos, en busca de concordancia. La idea es que si ambos grupos han afectado recíprocamente la evolución del otro, sus fechas de diversificación deberían ser similares. No vamos a explicar muchos de los detalles técnicos de nuestra metodología pero en resumen, consisten en comparar el material genético (el ADN) entre diferentes especies. Con base en la cantidad de diferencias moleculares entre las especies, es posible calcular sus tiempos de origen, usando técnicas llamadas *relojes moleculares*. Nuestros resultados demostraron que las fechas estimadas de diversificación de los murciélagos nectarívoros coinciden en términos generales, con la fecha estimada de origen de las cactáceas columnares, hace unos 7.55 a 10 millones de años. Estos resultados apoyan la hipótesis de coevolución entre estos linajes.

También se ha propuesto que la relación entre los murciélagos nectarívoros y las plantas de las que se alimentan, esto es, agaves y cactáceas columnares en zonas semi-áridas es asimétrica. Esto quiere decir que mientras



Leptonycteris nivalis de la cueva de El Diablo de Morelos. Foto R. Galicia.

ellos dependen del néctar y del polen de estas plantas, los murciélagos no son indispensables para éstas, ya que otros animales los pueden polinizar. Sin embargo en los bosques secos los murciélagos nectarívoros se alimentan principalmente de especies de los géneros *Ceiba* e *Ipomoea* (pochotes y cazahuates, respectivamente), por lo que en esta zona la dependencia de los murciélago nectarívoros por cactáceas y agaves es menor. Así, se han documentado diferencias latitudinales en la polinización de las cactáceas columnares y agaves: mientras más al norte, su dependencia de los murciélagos polinizadores es menor, y existe un mayor grado de polinización diurna, especialmente por colibríes como en el caso de *Stenocereus alamosensis*. Estos cambios se ven reflejados como cambios en el color en las flores, en la hora a la que abren (antesis) y en la cantidad y concentración de azúcares del néctar.

Por coevolución difusa se entiende que las relaciones entre las especies participantes son laxas, y que no existe una presión muy fuerte de selección hacia el otro participante. Es probable que una coevolución difusa con los murciélagos polinizadores haya sido un factor importante en la diversificación de las cactáceas columnares de México. Otros factores, por ejemplo, la dispersión de las semillas por animales, el que la región se haya hecho progresivamente más árida, la evolución del crecimiento columnar y la compleja topografía y diversidad de climas de México, probablemente también jugaron un papel en la diversificación del grupo.

Agradecimientos

Este artículo es resultado del trabajo de tesis de maestría que realicé en el Instituto de Biología, UNAM, bajo la dirección de la Dra. Susana Magallón, a la que le agradezco mucho, al igual que al Dr. Luis Eguiarte y a los integrantes del comité tutoral. Los Doctores Alberto Búrquez, y Salvador Arias, por la asesoría que me brindaron durante el desarrollo del estudio. Este proyecto fue financiado por PAPIIT-UNAM IN 202310.

Para saber más

- Barba-Montoya, J. A. 2012. Diversificación Pachycereeae (Cactaceae, Caryophyllales, Eudicotyledoneae) en relación al síndrome de polinización. Tesis de Maestría. UNAM. D.F. México.
- Datzmann, T., *et al*. 2010. Evolution of nectarivory in phyllostomid bats (Phyllostomidae Gray, 1825, Chiroptera: Mammalia). *BMC Evolutionary Biology*, 10:165.
- Fleming, T. H., C. Geiselman y W. John Krees. 2009. The evolution of bat pollination: a filogenetic perspective. *Annals of Botany*, 104: 1017-1043.
- Hernández-Hernández, Tania; Héctor M Hernández; J. Arturo De-Nova; Raul Puente; Luis E Eguiarte; Susana Magallón. 2011. Phylogenetic relationships and evolution of growth form in Cactaceae (Caryophyllales, Eudicotyledoneae). *American Journal of Botany*, 98: 44-61.

M. en C. José Antonio Barba Montoya. Estudió biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Hizo su tesis de licenciatura y de maestría bajo la dirección de la Dra. Susana Magallón en el Departamento de Botánica del Instituto de Biología, UNAM, y esta por iniciar sus estudios de posgrado sobre biología evolutiva en el Reino Unido.

Dra. Susana Magallón Puebla. Es investigadora titular del Instituto de Biología, UNAM y estudia diferentes aspectos de la evolución en plantas, en particular sus patrones de diversificación en el tiempo.





Los genes del murciélago de cola libre vistos a través del tiempo y el espacio

Ariadna E. Morales-García

A través del tiempo, nuestro planeta ha sufrido grandes transformaciones y las especies se han extinto, han cambiado o en algunos casos raros han permanecido iguales. Muchas de las que ahora viven en ciertos ambientes pudieron habitar lugares inimaginables en el pasado. El territorio que hoy identificamos como México es uno de los lugares en el mundo que más alteraciones ha padecido en la historia del planeta. Por ejemplo, algunas regiones se han inundado y otras han brotado del mar, cadenas montañosas han emergido de la tierra, enormes ríos y lagos han aparecido y desaparecido. Durante varios miles de años, México ha estado cubierto por grandes bloques de hielo, por desiertos; amplias extensiones de bosques, selvas y matorrales que se han extendido y contraído. Por lo tanto, aunque no debería asombrarnos la impresionante cantidad de formas de vida y su distribución, esto no siempre ha sido fácil de entender.

De la biogeografía a la filogeografía

La Biogeografía es una disciplina de la biología, cuyo principal objetivo es reconstruir la distribución espacial de varias especies o grupos a lo largo del tiempo. Pero, ¿cómo saber en donde habitaban determinadas poblaciones?, ¿han permanecido siempre en el mismo sitio o han migrado para colonizar nuevas regiones? Dado que no podemos regresar en el tiempo, ni preguntarle directamente a los residentes en ese momento, la manera de aproximarnos y "encuestar" a los moradores actuales es a través de sus genes. Sí, porque cada ser vivo tiene en cada una de sus células información que se almacena generación tras generación, e interpretándola de la manera adecuada es una guía a la historia evolutiva de las especies. Así pues, el ADN es una fuente de información biológica que nos narra la historia de las poblaciones, las especies o los linajes a través del tiempo. De esta manera surge la *Filogeografía*, que plantea dentro de sus principales objetivos estudiar a los genes a través del tiempo y el espacio.

Los murciélagos y la Filogeografía

Diversos estudios filogeográficos han encontrado concordancias casi impecables entre la distribución de las poblaciones actuales de varias especies vegetales y el surgimiento de ciertos ecosistemas que pudieron actuar como barreras o corredores. Pero en el caso de las especies que pueden desplazarse enormes distancias de manera constante, como lo hacen los murciélagos, las reconstrucciones filogeográficas se vuelven complicadas. Como cuando tienes que ordenar los papeles sin numerar que una ráfaga de viento desordenó al entrar por una ventana. Surge así un reto nuevo para los filogeógrafos. ¿Cómo resistirse a este reto cuando el objeto de estudio es tan carismático como un murciélago? Sí, porque la característica distintiva de los murciélagos sobre los demás mamíferos, el vuelo, se convierte en un dolor de cabeza para los genetistas de poblaciones que quieren conocer historias de colonización. Éste es el caso del murciélago de cola libre, conocido en el ámbito científico como *Tadarida brasiliensis* (figura 1).

¿Por qué el murciélago de cola libre es un modelo de estudio diferente?

Tadarida brasiliensis es el murciélago más abundante del continente americano, ya que llega a formar agrupaciones de millones de individuos y además puede volar grandes distancias. Sólo para alimentarse vuela más de 50 km en una



Figura. 1. Colonia de *Tadarida brasiliensis*. Foto A. Gómez Nísino.

noche. Y, cuando las condiciones ambientales no son las óptimas, puede migrar, recorriendo más de 1,500 km. No es nada quisquilloso con la presencia humana y puede vivir una gran diversidad de ecosistemas. Incluso habita en casas abandonadas, áticos o iglesias, aunque sin duda su lugar favorito son las cuevas oscuras y húmedas. Se ha sugerido que sólo las hembras de este murciélago son las que migran en busca de mejores sitios donde alumbrar y criar a sus bebés.

El uso de diferentes marcadores moleculares de ADN nos permite hacer inferencias sobre la conducta migratoria de estos murciélagos. El ADN que se encuentra en la mitocondria de las células puede contarnos sólo la historia de las hembras, ya que en los vertebrados, este organelo sólo se hereda por vía materna. En cambio, el ADN del núcleo nos cuenta una historia combinada entre los padres y las madres, porque cada hijo recibe mitad y mitad de información genética. En un estudio filogeográfico también es importante considerar qué tan rápido acumulan cambios los genes que son objeto de estudio o la tasa de sustitución (mutaciones que se fijan). De ésta tasa de cambio dependerá la resolución que tendremos en el tiempo para interpretar nuestros resultados. Esto quiere decir que mientras más rápida sea la tasa de mutación de un gen, más recientes serán los eventos poblacionales que podemos inferir; mientras más lenta sea, más antiguos serán los eventos que estaremos observando (figura 2). La elección de los genes dependerá del objetivo de nuestro trabajo y de las preguntas que queremos contestar.

¿Sólo migran las hembras del murciélago de cola libre?

Queremos saber si sólo las hembras de este murciélago migran y si dicha migración es consecuencia de la condiciones ambientales que rodean a las poblaciones (sin importar si son favorables o no). Para poder inferir esto, obtuvimos muestras de toda Norteamérica y utilizamos diferentes genes mitocondriales y de núcleo con distintas tasas de mutación; la más lenta para la mitocondria y la más rápida para el núcleo. Aislamos el ADN nuclear y mitocondrial, y obtuvimos información de algunos genes. Después hicimos varios análisis para estimar la estructura genética y la migración entre los grupos de poblaciones de este murciélago.

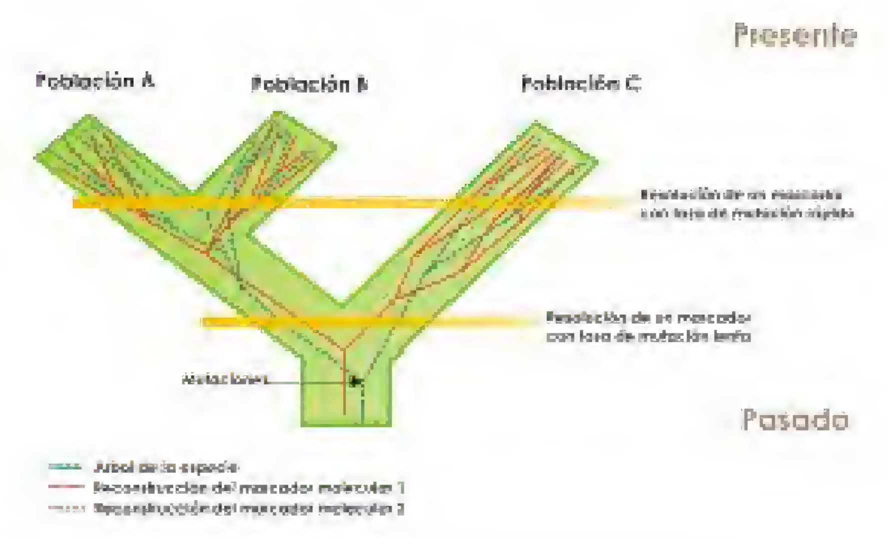


Figura. 2. Representación de la reconstrucción de la historia evolutiva de una especie utilizando diferentes marcadores moleculares.

La estructura genética nos dice qué tan parecidos o diferentes son los grupos de poblaciones entre si, se representa con un valor que va desde cero para las más parecidas hasta uno para las más diferentes (llamado F_{ST}).

Con nuestros datos notamos un patrón de estructuración genética diferente en el murciélago de cola libre con respecto a otros murciélagos. Los grupos que identificamos con los dos tipos de marcadores genéticos no concuerdan, lo cuál es común para este tipo de estudios. Por lo general, son mayores las diferencias encontradas en los genes con los datos de mitocondria que con los genes del núcleo. Esto se debe fundamentalmente a que las hembras no migran, o lo hacen poco, y los machos sí. En el murciélago de cola libre encontramos lo opuesto, es decir, con los genes nucleares encontramos seis grupos genéticos que son muy diferentes entre sí, mientras que por el ADN de la mitocondria sólo detectamos dos (figura 3). Esta discrepancia demuestra que las hembras sí migran y los machos no o lo hacen menos.

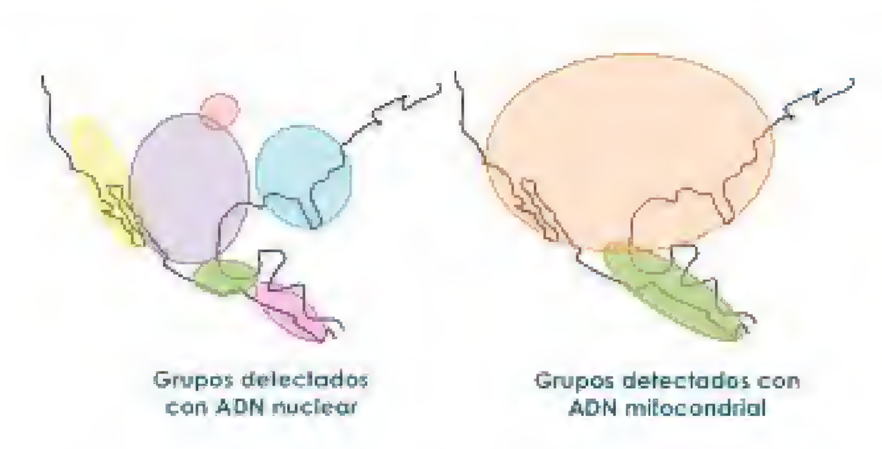


Figura. 3. Grupos genéticos de *Tadarida brasiliensis* detectados con ADN de núcleo y mitocondria.

¿El murciélago de cola libre tiene barreras para migrar?

No podemos ignorar que Norteamérica es una región con ambientes muy heterogéneos. Es aquí donde se encuentra la transición entre dos de las principales regiones biogeográficas del continente: la Neartica y la Neotropical. La transición entre cada ambiente diferente puede representar una barrera para la migración en esta y otras especies. Si ponemos atención en los hábitats de cada uno de los grupos, encontraremos más respuestas. Cada grupo que identificamos con los genes nucleares se encuentra en regiones del continente con condiciones climáticas y ambientales características (que definen el llamado nicho ecológico). No obstante, la mayor diferencia entre grupos se encuentra en la zona de transición de las dos zonas biogeográficas. Esto nos sugiere que aunque el murciélago de cola libre migra mucho, éste tiende a desplazarse con mayor frecuencia hacia regiones climáticamente similares. Lo cual fue corroborado por las inferencias de migración. Además, notamos que aquellos grupos que habitan en la región Neotropical, donde las condiciones climáticas son constantes durante todo el año, no son migratorios. Por otro lado, los grupos que habitan en la región Neártica, donde la variación de la temperatura es muy drástica estacionalmente (sobre todo en invierno), sí son migratorios. Lo anterior lo podemos explicar al considerar que los grupos de las regiones más cálidas no tienen la necesidad de migrar, porque siempre tienen alimento, un refugio confortable, pareja y un lugar optimo donde alumbrar a sus crias. Mientras que los grupos de regiones donde el invierno es inclemente, se desplazan hacia zonas más cálidas y confortables (figura 4).

Sin embargo, nuestras simulaciones de migración indican que siempre hay aventureros, aunque en menor proporción, que van y vienen entre regiones contrastantes. Este hecho queda manifiesto con nuestros datos de análisis de ADN mitocondrial, los que indican que hay menos diferenciación entre grupos.

¿Este murciélago siempre ha migrado por el mismo camino?

¿Cómo podemos saber si históricamente las hembras de esta especie son las únicas que migran? Nuestros resultados no demuestran directamente si las hembras son las únicas que migran; esto sólo se podría saber regresando el tiempo, pero lo podemos inferir al comparar



Figura. 4. Ubicación de grupos migratorios y no migratorios de *Tadarida brasiliensis*.

también los patrones de estructuración genética entre los dos marcadores moleculares porque tienen diferentes tasa de mutación. Es decir, comparamos la distribución geográfica de los grupos inferidos a diferentes escalas de tiempo.

Con los genes nucleares detectamos seis grupos (que representan un escenario actual) y con los genes de mitocondria detectamos sólo dos grupos (que representa un escenario más antiguo). Existe un grupo que se diferencia de los demás, y esto coincide tanto por los genes de núcleo como por los de mitocondria. Además debemos notar que pareciera que el otro grupo que identificamos con el gen de mitocondria se subdivide en grupos pequeños (los delimitados con los genes de núcleo). Aquí podemos encontrar la respuesta a la migración histórica de las hembras. Si a lo largo de la historia de la especie, las hembras hubiesen migrado mucho y de manera indistinta desde y hacia todas las diferentes regiones del continente, entonces la diferenciación entre estos grupos no podría distinguirse. Por la información de

los genes dek núcleo no observaríamos ningún grupo diferenciado en la actualidad. Nosotros si estamos observando grupos estructurados genéticamente con los dos marcadores, por lo que podemos decir que las hembras del murciélago de cola libre siempre han migrado grandes distancias y con más frecuencia entre ambientes parecidos. No obstante, los machos también lo hacen, aunque en menor proporción.

En suma

El uso de diferentes marcadores moleculares, nucleares y de la mitocondria, interpretados en un contexto adecuado, nos dan pistas sobre la historia evolutiva de las especies. Incluso en casos extremos donde la naturaleza de una especie pudiera no ser la idónea para hacer reconstrucciones. En el caso del murciélago de cola libre, la migración y patrones de estructuración genética actuales son influidas en gran medida por las características ambientales. Pero a lo largo de muchos miles de años hay suficientes migrantes entre todos los grupos que pueden diluir la diferenciación entre grupos.

Para saber más

- Avise J.C. 2000. *Phylogeography: The History and Formation of Species*. Harvard University Press, Cambridge.
- Hickerson M.J., Carstens B.C., Cavender-Bares J., Crandall K.A., Graham C.H., Johnson J.B., Rissler L., Victoriano P.F., Yoder A.D. 2010. Phylogeography's past, present, and future: 10 years after Avise 2000. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 54, 291-301.
- Morales A.E. 2012. Filogeografía y genética de poblaciones de *Tadarida brasiliensis* (Chiroptera: Molossidae) en México. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México.

M. en C. Ariadna E. Morales-García. Es una ferviente admiradora de los murciélagos y su historia evolutiva. Estudió biología en la Facultad de Ciencias de la UAEMex y una maestría en el Instituto de Ecología, UNAM, donde en la actualidad trabaja como técnico académico en el laboratorio de Genética y Ecología. Es una futura estudiante de doctorado. Esta interesada en la reconstrucción de patrones filogeográficos y evolutivos utilizando marcadores moleculares, modelados de nicho ecológico, morfometría y cualquier herramienta que ayude a dilucidar la historia. Los datos utilizados para este artículo son parte de su tesis de maestría del programa de Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM, bajo la tutoría del Dr. Daniel Piñero.





¿Muerto el perro, se acabó la rabia? La rabia en México en perros y animales silvestres

Andrés Velasco-Villa y Valeria Souza

Este proverbio popular se ha perpetuado en la memoria colectiva debido al gran impacto histórico que la rabia ha tenido en la salud pública y animal de muchos países del mundo, incluido México. Si bien la rabia asociada a perros domésticos ha sido controlada y en algunos lugares eficientemente erradicada, más de 55,000 personas mueren al año por esta enfermedad en países empobrecidos de Asia, África y América.

La rabia en México

En México el problema de la rabia tiene una historia relativamente reciente, la cual ha estado íntimamente ligada al desarrollo urbano y al crecimiento descontrolado de la población canina desatendida. El xoloizcuintle o perro pelón era la única raza autóctona en la América prehispánica, la cual además había existido en el continente por más de 8,000 años. No obstante la existencia de perros, no había rabia canina en el Nuevo Mundo. La densidad demográfica de estos perros estaba finamente controlada por el papel que jugaba en estas culturas, que además tenían muy en mente el valor de su entorno. Los xoloizcuintles eran perros de compañía y también eran usados como fuente de alimento en ritos y ceremonias, en donde se les daba la connotación de deidades. No fue hasta 1519 que otras razas de perros fueron importadas de Europa con el propósito de utilizarles como animales de ataque, guardia, cacería y protección. Este cambio radical del papel del perro dentro de una sociedad en transición cultural, propició que la población canina empezara a tener un crecimiento desmedido. Hacia 1581 los problemas asociados al exceso de la población de perros se empezaron a notar, por lo que surgieron legislaciones para controlar el número de animales callejeros y así la cantidad de personas mordidas. Fue hasta 1709 que, como los asentamientos humanos eran más prominentes y por ende la densidad canina más alta, la rabia se hizo notar con grandes epidemias en humanos y ganado en el centro de México.



Grabado en madera de la edad media que muestra la reaccion ante un perro con rabia. Fuente: www.en.wikipedia.org.

Hasta aquí claramente podemos notar que la rabia al igual que otras enfermedades emergentes asociadas a los animales (como el VIH-SIDA), ha sido un problema relacionado a cambios radicales de comportamiento humano, vinculado al uso irresponsable y mal manejo de los recursos naturales de su entorno. Ahora nos resulta obvio que la urbanización y crecimiento descontrolado de las poblaciones humanas ha propiciado grandes desequilibrios ecológicos que a su vez, han desencadenado el surgimiento de varias enfermedades propias de animales en humanos (*zoonosis*). Aunque seguramente eran pocos los casos que se reportaban por la carencia de un diagnostico de laboratorio sensible y especifico, desde finales de los años treinta y hasta principios de los noventa, en México se moría un promedio de 80 personas al año por esta enfermedad, como consecuencia de la presencia de miles de casos de rabia en perros (de 3,000 a 5,000 en promedio diagnosticados por laboratorio).

Para mitigar este problema de salud, se empezó a vacunar a perros y gatos de forma

masiva en campañas nacionales que también contemplan el control y manejo de la población canina errante. Para el año 2012, México llega a aplicar, a lo largo del año, cerca de 20 millones de dosis de vacuna antirrábica en dos semanas. La primera semana de vacunación es a principios de la primavera y la segunda a principios del otoño, anticipando con al menos un mes los picos de máxima incidencia de la enfermedad en perros. Esta estrategia considera el periodo de incubación promedio de la enfermedad de un mes. Asimismo, las estrategias de control de la población canina contemplan educación a la población para tener mascotas responsablemente, esterilización quirúrgica gratuita y eliminación humanitaria de perros callejeros. Dichas acciones prácticamente han erradicado en todo el país la rabia en humanos trasmitida por perros. También han eliminado el problema en



El 28 de septiembre se celebra el Día Mundial de Lucha contra la Rabia. Imagen: http://www.worldrabiesday.org/es/

las poblaciones caninas del norte y disminuido dramáticamente la incidencia en el centro y sur del país. La evolución concertada de las estrategias de vacunación, aunada a la producción de vacunas antirrábicas mas potentes y eficaces, que incluyen el cambio de vacunas producidas en cerebros de ratón lactante por vacunas altamente purificadas producidas en cultivos celulares in vitro, tanto para humanos como para animales, han jugado un papel importante en estos significativos logros.

Sin embargo, a pesar de los grandes esfuerzos que por décadas se han realizado para controlar y eliminar la rabia asociada a perros, todavía existen focos persistentes de rabia en estos animales en regiones marginadas del centro y sureste de México, en donde los laboratorios diagnostican un máximo de 20 casos al año. Aunque el número de casos es mucho menor comparado a los que se presentaban en los años ochenta, la presencia de la enfermedad en perros impone un riesgo permanente en la población humana.

La persistencia de la rabia en México

¿Por qué, a pesar del enorme esfuerzo de vacunación, no se ha logrado quitar la rabia en el país? Lo que pasa es que las campañas nacionales de vacunación no llegan a asentamientos irregulares y a zonas empobrecidas del centro y sureste del país.

Por otra parte, los perros callejeros que aparentemente tienen dueños que los alimentan, los esconden cuando llega el antirrábico a limpiar las calles de animales sin dueño. Esto provoca que las coberturas de vacunación no logren inmunizar a todos los perros, por lo que interrumpir de forma definitiva la circulación del virus en la población canina ha sido imposible hasta el momento. Sin embargo, esperemos que el surgimiento de una nueva conciencia social, que se basa en el respeto a los animales, nos conducirá a un mejor manejo de la población callejera de perros y gatos, también tendrá el potencial de eliminar a la rabia y otras enfermedades zoonóticas asociadas a esto animales domésticos.

Alternativas de vacunación

Para aquellos lugares en donde estos cambios no se puedan gestar en el corto plazo, se están desarrollando otras alternativas. Una de las más novedosas son las vacunas orales contra la rabia que, además de proteger a los animales contra esta enfermedad, llevan en su formulación un elemento anticonceptivo. Estas vacunas están hechas con virus de la rabia modificados genéticamente para hacerlos no-patogénicos. A estos también se les ha insertado en su genoma un elemento anticonceptivo, que puede ser una hormona o una proteína del recubrimiento de células germinales (espermatozoide u óvulo). Estos virus de la rabia genéticamente modificados son capaces de replicarse sin causar la enfermedad, induciendo de esta manera una respuesta inmune apropiada en contra del virus de la rabia y en contra de las células germinales o bien, dependiendo del elemento insertado,



producen una hormona anticonceptiva. La formulación con la dosis apropiada para el animal que se va a inmunizar, es entonces empacada en ampolletas de plástico las cuales a su vez, son cubiertas de un atrayente con sabor y olor agradable, dependiendo de la especie blanco. Aunque es una altrenativa algo desesperada, la vision es solo poderla dirigir hacia la poblacion callejera de perros. Sin embargo, el uso de este método puede complicarse en lugares donde estas poblaciones estan muy cerca de reservas ecologicas o hay abundante fauna silvestre no nosiva, la cual pudiera consumir los cebos con efectos desastrosos si la hormona o factor anticonceptivo incluida en la formulación fuese de amplio espectro. Es por esto que dicha tecnología se sigue estudiando para lograr un nivel más alto de refinamiento.

¿Y los murciélagos? La rabia en la fauna silvestre

Los esfuerzos de control y prevención de la rabia en perros han propiciado que desde hace más de seis años México no haya notificado casos de rabia en seres humanos transmitidos por estos animales. Sin embargo, desde entonces se presentan de tres a cuatro casos al año trasmitidos por animales silvestres. Pero entonces, "muerto el perro no se acaba la rabia" ¿de qué animales silvestres puede provenir la enfermedad?, ¿cómo la trasmiten estos animales silvestres?, ¿cómo podemos confirmar el origen de los casos de rabia en perros y otros animales domésticos, si no es posible obtener información de que animal rabioso les mordió? y en humanos ¿cómo podemos inferir esto si la enfermedad imposibilita a la persona para que proporcione cualquier información respecto a la fuente de infección? Inicialmente con estudios de epidemiología descriptiva en animales (*epizootiología*) y posteriormente, estudios de epidemiología molecular de la rabia en los países desarrollados de Norteamérica del norte y de algunos de Europa, ayudaron a determinar que el virus de la rabia no sólo estaba establecido en perros, pero que también circulaba de forma persistente independiente en diferentes poblaciones de cánidos silvestres (linaje de donde proviene el ancestro lobo de donde se domesticaron los perros) y en varias especies de murciélagos (figura 1).

La epidemiología molecular aborda el seguimiento en el espacio y tiempo de los

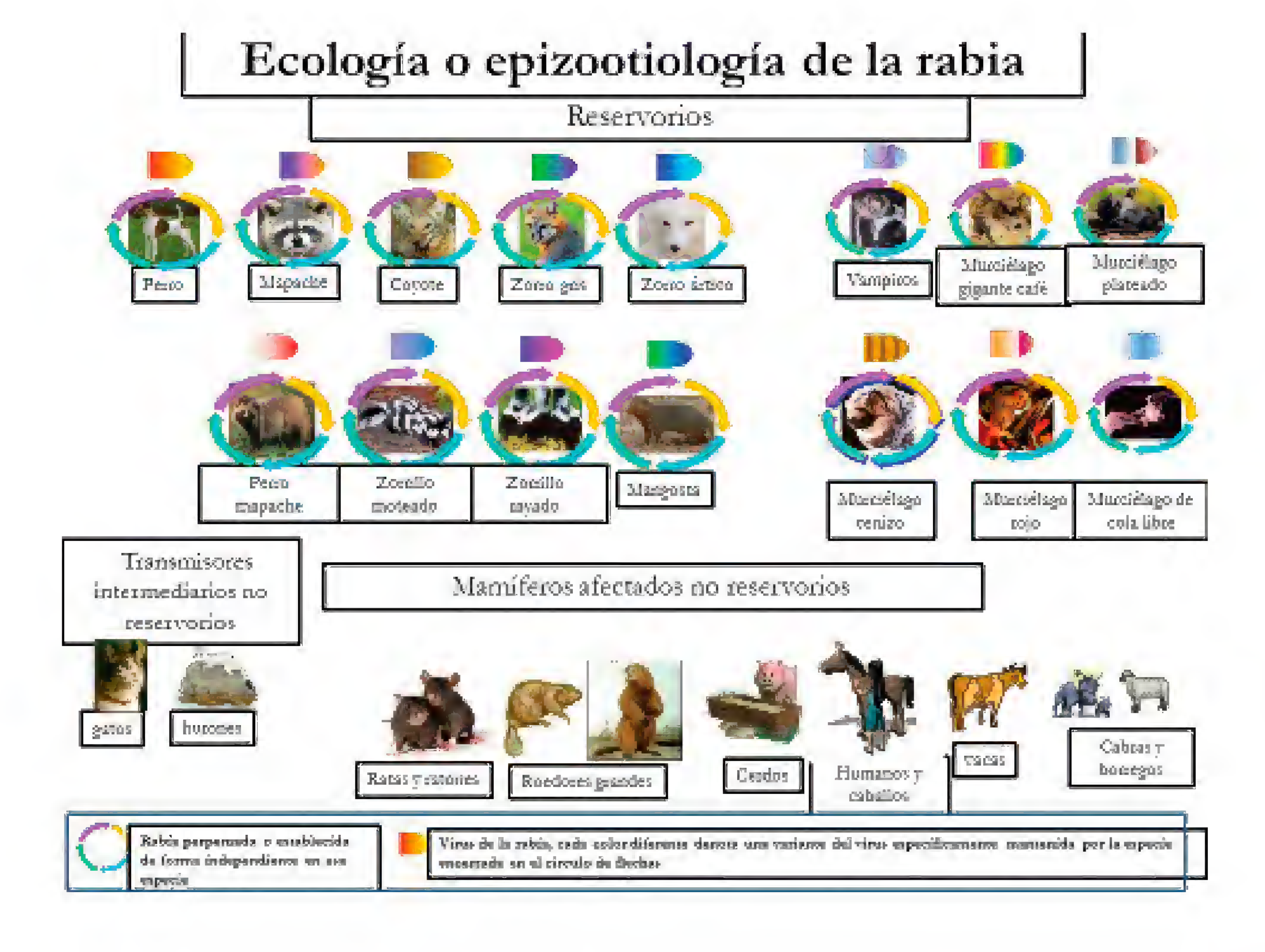


Figura 1. Representación esquemática que ilustra la diversidad de animales que perpetúan y transmiten la rabia en la naturaleza (reservorios). Las diferentes variantes del virus de la rabia específicamente asociadas a ellos están representadas como balas de diferentes colores arriba de cada uno de ellos. El circulo de colores que rodea la foto de cada reservorio de la rabia, representa que la enfermedad es mantenida por transmisión entre los miembros de la misma especie.

agentes causales de enfermedades mediante la detección de una o varias unidades de identificación o de identidad. Estas unidades de identificación pueden ser proteínas o fragmentos de su genoma (genes completos o parciales o regiones no-codificantes). En la actualidad se cuenta con enormes bases de datos con secuencias de ADN para cada virus de la rabia asociado de forma específica a diferentes especies de murciélagos y carnívoros terrestres de lugares particulares del planeta. De esta manera, cuando se analiza un nuevo caso, en un animal o en un humano con rabia, la secuencia obtenida se compara con esta base de datos mediante herramientas de bioinformática que permiten identificar a los candidatos que mas se le parecen. Esta información finalmente nos conduce a inferir mediante la reconstrucción de árboles genealógicos (figuras 2 y 3), la variante del virus de la rabia, el animal que la mantiene y lo transmite a otros mamíferos en la naturaleza (llamado animal reservorio) y la región geográfica en donde actualmente circula.

Ahora se sabe que el virus de la rabia es clonal (no tiene recombinación, ver Souza y Eguiarte *Oikos*= 4: 4-9) por lo que su diversidad se debe exclusivamente a mutaciones. Con esta diversidad genética el virus de la rabia ha logrando establecerse en varias poblaciones de mamíferos de forma independiente, en donde sigue evolucionado y diversificándose con el transcurrir del tiempo y a largo de la distribución geográfica en donde habitan sus reservorios naturales. Por ejemplo, en México hemos identificado al menos ocho variantes geográficas del virus de la rabia asociadas a perros, las cuales representan focos independientes de la enfermedad en el país, dentro de los cuales cuatro ya están extintos -- gracias a los esfuerzos de control y prevención de la rabia-- y los otros cuatro siguen circulando en lugares marginados de Chiapas, Yucatán, Estado de México y Oaxaca-Guerrero. Asimismo, (ver figura 2) se han identificado focos de rabia en zorros grises que abarca gran parte del sur de los Estados Unidos y norte del país y al menos cuatro linajes independientes de rabia en zorrillos: una en Baja California Sur, otro que abarca el centro-norte del país dentro de los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, y el tercero que abarca los estados de Sinaloa, Durango y Sonora. Se creía que el cuarto foco se había eliminado desde el 2004, pero resurgió en el 2011 en el estado de Nuevo León, el cual probablemente también abarca los estados de Coahuila y Tamaulipas. Finalmente, otro linaje de rabia está asociado a mapaches en la costa este de los Estados Unidos, cuyo origen común coincide con el de la rabia en murciélagos más que con el de la rabia en perros y carnívoros terrestres.

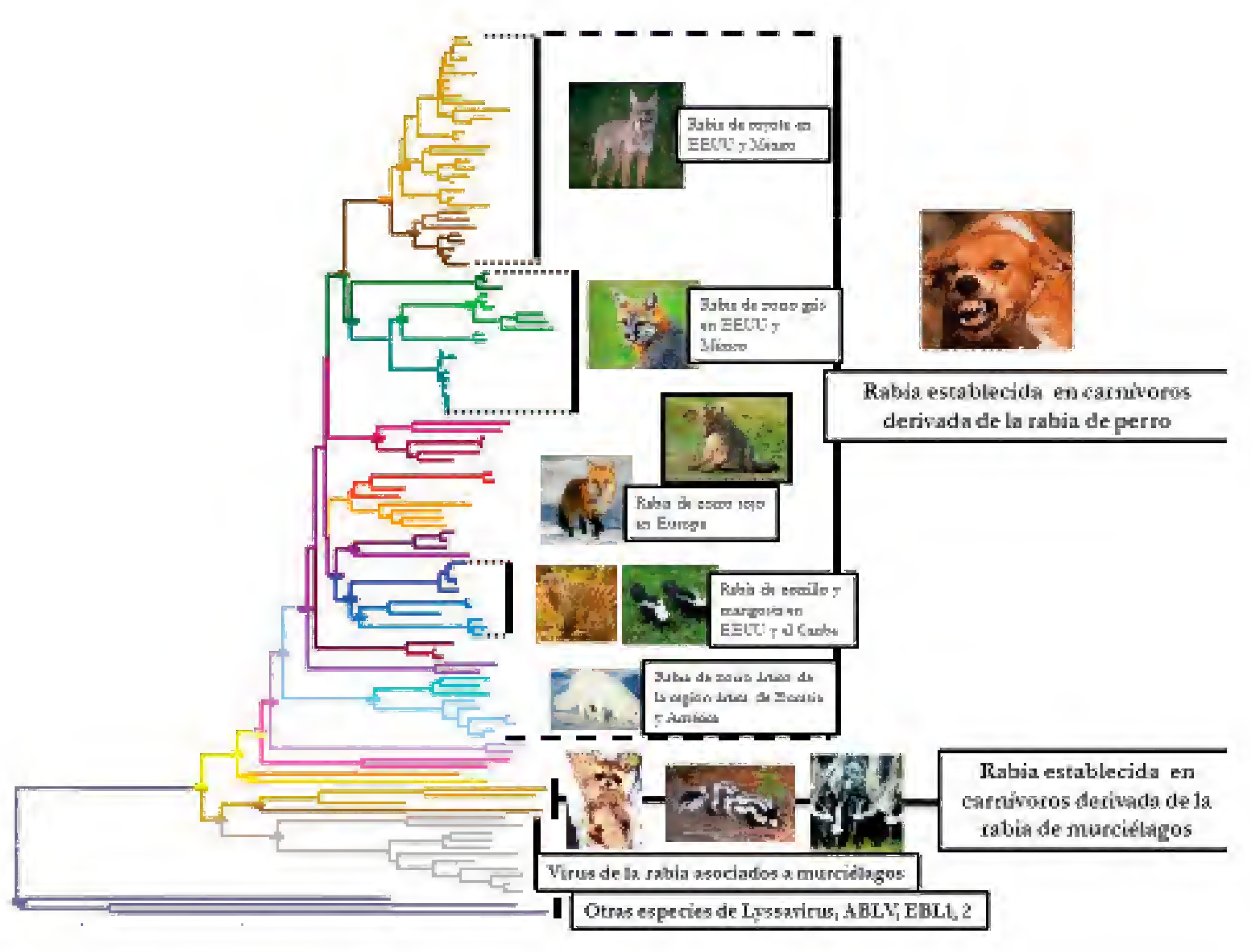


Figura 2. Reconstrucción genealógica que relaciona la variante del virus de la rabia, el animal que la mantiene y lo transmite a otros mamíferos en la naturaleza, así como la región geográfica en donde actualmente circula.

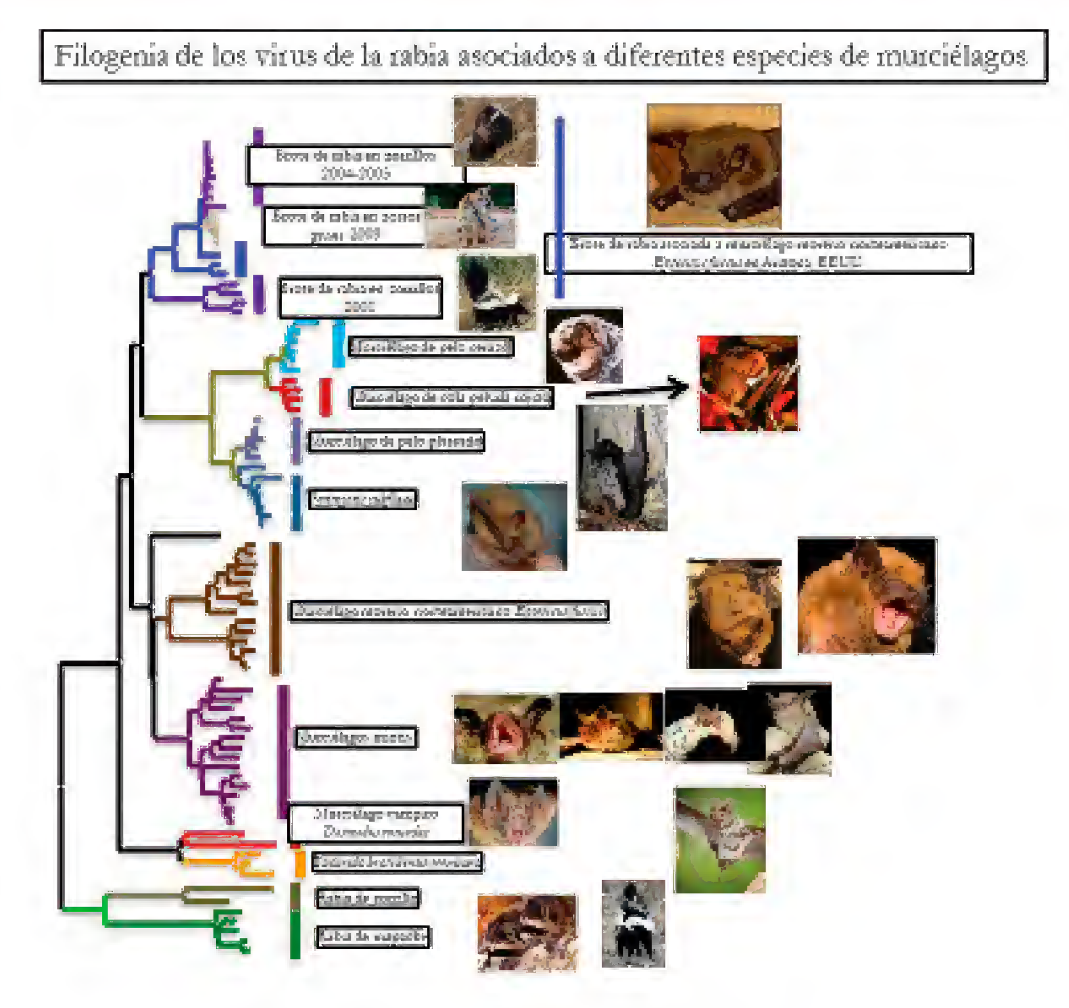


Figura 3. Murciélagos en los que la rabia cumple su ciclo en México y los Estados Unidos.

Por otro lado, el virus de la rabia en murciélagos parece presentar una mayor diversidad que la observada en carnívoros terrestres. Incluso hay evidencia que sugiere que los virus de esta enfermedad asociados a murciélagos de América, han existido en éste continente mucho antes de la colonización Europea. Las especies de murciélagos donde la rabia cumple su ciclo en México y los Estados Unidos son el vampiro común (*Desmodus rotundus* que sólo vive desde México hasta el Sur de América), y en varias especies de murciélagos insectívoros, como *Tadarida brasiliensis* (ver artículo de Ariadna E. Morales-García en éste número), así como el murciélago de pelo cenizo, el de cola peluda rojizo y el de pelo plateado, entre otros. Destaca el murciélago moreno norteamericano, que ha sido responsable de fuertes brotes de rabia en los Estados Unidos (figura 3).

Cada uno de los virus encontrados en estas diferentes especies de murciélagos tiene rasgos distintivos en su genoma que los hacen diferentes entre sí. Esto permite asociarlos, sin lugar a dudas, en los casos de rabia que se presentan en seres humanos y animales domésticos. Algo que es importante aclarar, es que ninguno de los reservorios de la rabia es portador sano del virus. Esto quiere decir que una vez que el virus alcanza el sistema nervioso central del animal, este se disemina a las glándulas salivales y a otros órganos. Poco tiempo después, la enfermedad se manifiesta con signos neurológicos claros que inevitablemente le llevan a la muerte. Sin embargo, es necesario enfatizar que siempre hay que evitar el contacto con cualquier animal silvestre y si hay que manipularlo, hacerlo con equipo de protección adecuado, siguiendo las instrucciones y supervisión de un experto. En especial no tener contacto con animales que manifiesten conducta anormal, o sea que este demasiado agresivo o muy pasivo.

Conclusiones

El conocimiento actual sobre la rabia demuestra que no es una enfermedad exclusiva de los perros y que en la actualidad es endémica en un número muy grande de animales silvestres. Esto exige de nuevas estrategias de control y prevención de la enfermedad, no solo para que no le llegue al humano, sino para proteger la vida silvestre y su diversidad en el planeta. En una próxima oportunidad exploraremos como se están investigando los orígenes de la rabia y como es que el virus ha logrado establecerse en este espectro tan amplio de especies de mamíferos.



Para saber más

- Secretaría de Salud, 2001. *Programa de acción: Rabia*. México DF. Secretaría de Salud, pp. 13–33. http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/rabia.pdf
- Streicker D.G., A.S. Turmelle, M.J. Vonhof, I.V. Kuzmin, G.F. McCracken, C.E. Rupprecht. 2010. Host phylogeny constrains cross-species emergence and establishment of rabies virus in bats. *Science*, 329: 676-679.
- Velasco-Villa A., S.A. Reeder, L.A. Orciari, P.A. Yager, R. Franka, J.D. Blanton, L. Zuckero,P. Hunt, E.H. Oertli, L.E. Robinson, C.E. Rupprecht. 2008. Enzootic rabies elimination from dogs and reemergence in wild terrestrial carnivores, United States. *Emerging Infectious Diseases*, 14:1849-1854.
- Velasco-Villa A, L.A. Orciari, V. Juárez-Islas, M. Gómez-Sierra, I. Padilla-Medina, A. Flisser, V. Souza, A. Castillo, R. Franka, M. Escalante-Mañe, I. Sauri-González, C.E. Rupprecht. 2006. Molecular diversity of rabies viruses associated with bats in Mexico and other countries of the Americas. *Journal of Clinical Microbiology*, 44: 1697-710.

Dr. Andres Velasco-Villa. Actualmente trabaja en el laboratorio de rabia del Centro para Control de Enfermedades Infecciosas, EUA que también es el Centro Colaborador para Referencia e Investigación de la Rabia de la Organización Mundial de la Salud y de la Organización Mundial de Salud Animal. Obtuvo su licenciatura y maestría en microbiología en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN y su doctorado en la UNAM. Su investigación gira alrededor de la evolución y ecología de la rabia.

Dra. Valeria Souza. Es investigadora titular C del Instituto de Ecología de la UNAM. Estudió toda su carrera en la UNAM y su interés es la ecología evolutiva de los microorganismos. Ha ganado diversos premios nacionales.



El mundo acústico de los murciélagos

Héctor T. Arita

Un buen día de 1790, Lazzaro Spallanzani llegó emocionado a su residencia de Pavia con un cargamento un tanto extraño: un grupo de murciélagos. El sacerdote y naturalista italiano frisaba los sesenta años y para entonces había realizado ya sus famosos experimentos con los que demostró la inexistencia de la generación espontánea de materia viva a partir de la inerte. Esta vez, el sabio de Pavia estaba interesado en un misterio del mundo animal: ¿cómo pueden los murciélagos volar en la oscuridad total de una cueva sin chocar con los obstáculos?

Spallanzani siguió un protocolo de investigación experimental cuidadoso, si bien la mayoría de sus pruebas se considerarían extremadamente crueles para los estándares modernos de la ciencia. Para empezar, destruyó con alambres calientes los ojos de algunos de los murciélagos y constató que a pesar de ello los animales podían volar con perfecta soltura: claramente no era la visión el sentido que los quirópteros usaban para dirigir su vuelo. Con procedimientos igualmente destructivos, el naturalista demostró que ni el gusto ni el olfato tenían relación alguna con la orientación de los murciélagos, aunque no pudo descartar con seguridad el papel del tacto. Finalmente, obstruyó con cera y otros materiales los conductos auditivos de los murciélagos, lo que provocó una total desorientación en los animales. Evidentemente, era el sentido del oído el que utilizaban los murciélagos para navegar aún en completa oscuridad. "Los murciélagos ven el mundo con sus oídos", concluyó triunfante Spallanzani.

Estas conclusiones eran tan avanzadas para su tiempo que tuvieron que pasar casi 150 años para que finalmente se entendieran los mecanismos que permiten a los murciélagos usar los sonidos para navegar en la oscuridad. A finales de la decada de 1930, Donald Griffin y Robert Galambos, estudiantes de posgrado de la universidad de Harvard, acercaron un micrófono capaz de detectar ultrasonidos a unos murciélagos en cautiverio y demostraron que los animales emitían sonidos de muy alta frecuencia, inaudibles para el ser humano, en pulsos característicos que coincidían con los movimientos de la boca y las orejas de los animales.

Después de varios experimentos, Griffin y Galambos pudieron desenmarañar el



Estampilla postal en memoria de Spallanzani publicada en abril de 1979. Imagen cortesía de www.speleophilately.com

misterio que obsesionaba a Spallanzani. Los murciélagos, mientras vuelan, emiten series muy rápidas de ultrasonidos de altísima intensidad. Las ondas sonoras de estas señales se reflejan en los objetos que se encuentran frente a los murciélagos, los que pueden entonces percibir la presencia de un obstáculo a través de estos ecos. Años más tarde, en 1944, el propio Griffin acuñó el término *ecolocalización* para referirse a este proceso de detección de objetos usando la reflexión de sonidos producidos por el propio animal. Otros investigadores descubrieron que existen sistemas similares en varios delfines y ballenas, en algunas musarañas, un par de especies de aves y, probablemente, algunos roedores. El término *biosonar* también se ha usado para referirse a este fenómeno,

pues es en todos sentidos análogo al sonar que se emplea en el mar para la detección de submarinos o para analizar la topografía usando la reflexión de ondas sonoras.

Siguiendo la línea establecida por Griffin, los científicos han podido establecer que cerca de 900 especies de murciélagos (los microquirópteros) emplean, en mayor o menor grado, un sistema de biosonar basado en ultrasonidos generados en la laringe. Existen además unas pocas especies de "zorros voladores" (megaquirópteros) que emplean un sistema de ecolocalización basado en chasquidos producidos por la lengua. Para los microquirópteros, la ecolocalización es una característica tan importante y distintiva como lo es la propia capacidad de volar. De hecho, una controversia actual entre los científicos, en relación con la evolución temprana de los microquirópteros hace poco más de 50 millones de años, es sobre



Un murciélago pescador draga con sus garras la superficie del agua al mismo tiempo que emite sonido con su boca; busca detectar cualquier irregularidad que ocasione un pez en la superficie. Foto M. Tschapka.

cuál de los atributos surgió primero, el vuelo o la ecolocalización.

Varias especies usan la ecolocalización principalmente para orientarse y evitar obstáculos, pero en algunos grupos el sistema de detección de ecos es realmente sofisticado. Muchas especies de murciélagos insectívoros, por ejemplo, usan su sistema de ecolocalización para detectar, identificar, rastrear, perseguir y capturar al aire pequeños insectos voladores. Para la identificación de sus presas, los murciélagos insectívoros son capaces de evaluar la forma, el tamaño y la textura externa de sus posibles presas, además de medir su dirección y velocidad, todo esto en fracciones de segundo.

Hay murciélagos que además de tener sonares muy desarrollados, usan los sonidos del entorno para orientarse y para detectar alimento u otros recursos. El murciélago de labios verrugosos de América tropical, por ejemplo, localiza ranas machos siguiendo los cantos que estos anfibios emiten para atraer hembras. Este sistema es análogo al llamado sonar pasivo, que consiste en detectar sonidos producidos por el propio objeto que se intenta detectar. De manera similar, otras especies de murciélagos insectívoros localizan sus presas, grillos y otros insectos, por los sonidos que emiten estos animales.

La ecolocalización generalmente está menos desarrollada en los murciélagos que se alimentan de frutas o de polen y néctar, ya que en estos casos son el olfato y, en menor medida la vista, los sentidos que guían a los quirópteros hacia su alimento. Sin embargo, investigaciones recientes han mostrado una curiosa relación entre algunas plantas y los murciélagos que las polinizan. Resulta que varias de estas plantas han modificado la forma y la posición de las estructuras florales para facilitar la reflexión de los sonidos de ecolocalización de los murciélagos. El año pasado se anunció el descubrimiento de una planta en Cuba que posee una hoja modificada, ubicada justo arriba de las flores, que funciona como un auténtico faro, pues tiene una forma parabólica que refleja los sonidos de ecolocalización que emiten los murciélagos polinívoros en busca de alimento, facilitando así la localización de las flores por los quirópteros.

Tal como lo adelantó Spallanzani hace más de 220 años, el mundo de los murciélagos es un entorno acústico. Lo que para nosotros es un mundo visual, para los quirópteros es un ambiente definido por imágenes creadas con sonidos. Objetos como un pequeño insecto nocturno, una inconspicua rana tropical o una descolorida flor que abre de noche generalmente pasan inadvertidas para los animales



La ecolocalización por murciélagos. Imagen www.exploringnature.org

que, como nosotros, se basan en la vista para interactuar con su entorno. Para los murciélagos, por el contrario, el mundo de la noche está lleno de señales sonoras que contienen una gran cantidad de información sobre su ambiente. Los murciélagos realmente "ven" con sus oídos.

Para saber más

- Veselka, N., D. D. McErlain, D. W. Holdsworth, J. L. Eger, R. K. Chhem, M. J. Mason, K. L. Brain, P. A. Faure y M. B. Fenton. 2010. A bony connection signals laryngeal echolocation in bats. *Nature*, 463: 939-942.
- Simon, R., M. W. Holderied, C. U. Koch y O. von Helversen. 2011. Floral acoustics: conspicuous echoes of a dish-shaped leaf attract bat pollinators. *Science*, 333: 631-633.

Dr. Héctor Arita. Estudió biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM y realizó su doctorado en la Universidad de Florida en Gainsville, EUA. Es investigador del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, donde estudia aspectos de la biología de animales y macroecología. Tiene un gran interés por la divulgación científica y la fotografía.



RESEÑA DE LIBRO

Medellín R. A., H. T. Arita y O. Sánchez H. 2008. *Identificación de los Murciélagos de México. Clave de Campo*. **Segunda edición. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 79 páginas. ISBN 978-970-91921.**

Los murciélagos (Orden Chiroptera) son el segundo grupo de mamíferos más diverso, y los organismos pertenecientes a este orden se caracterizan por tener la capacidad del vuelo. Se han identificado alrededor de 1,116 especies a nivel mundial, de las cuales 138 se pueden encontrar en México. El orden de los murciélagos no sólo es diverso en términos de número de especies, sino también en la gran variedad de ecosistemas y nichos que ocupan.

Pero, al ser un grupo tan diverso que comparte un plan corporal básico muy similar, la labor de identificación de especies, aún para los especialistas en el orden, se vuelve complicado particularmente cuando se está realizando trabajo de campo.

Los autores presentan una clave de identificación de las especies de murciélago que habitan México diseñada específicamente para ser utilizada en el campo. Esta clave de identificación de murciélagos, que se publica once años después de la primera edición, representa una herramienta muy valiosa para los biólogos que pretenden estudiar a estos fascinantes organismos.

La clave cuenta con un prefacio donde se tocan generalidades referentes a la gran diversidad del grupo, así como a la importancia de su conservación y su utilidad. Asimismo, se incluye una introducción donde se detalla información concerniente a la forma de clasificación del orden, la diversidad de especies presente en el mundo y particularmente en México, así como indicaciones para utilizar la clave de identificación. Adicionalmente, se señalan otros posibles usos del libro y se dan recomendaciones sobre seguridad. Este último punto resulta muy importante, ya que establece las medidas necesarias para trabajar con estos organismos e incluye una clave rápida que permite diferenciar a los murciélagos hematófagos (*Desmodus rotundus*), que pueden estar sujetos a control por parte de las autoridades. Se incluye, además, un esquema de la morfología externa de un murciélago que resulta muy útil para el correcto uso de la clave de identificación.



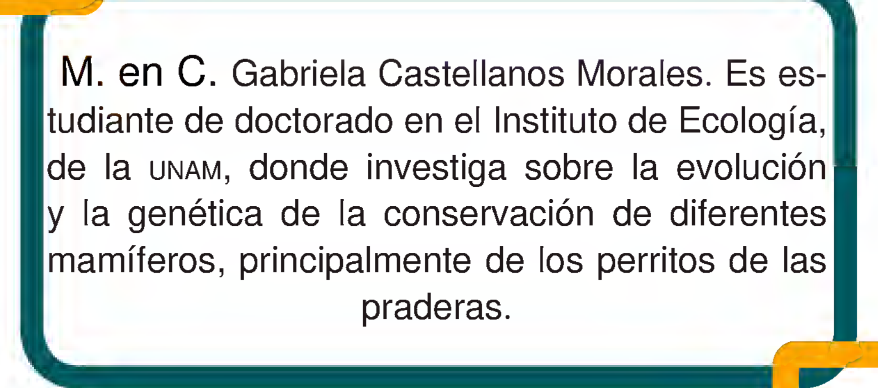
Los autores también abordan aspectos sobre la captura de murciélagos, donde se describen algunos de los métodos utilizados para muestrearlos y el estado de conservación de distintas especies tomando como referencia la NOM-ECOL-059-2002. Hacen énfasis en la importancia de estos organismos dentro de su ecosistema como polinizadores, dispersores de semillas e incluso para el control de plagas de insectos.

La obra finaliza con comentarios sobre la nomenclatura, los mapas y una lista de las especies de quiropterofauna mexicana incluidas en el texto. En los comentarios sobre nomenclatura se explica porque se consideran 138 especies en la obra y comenta que conforme se ha avanzado en el estudio de los murciélagos, ha habido cambios en los nombres científicos de algunas especies y que, en lo concerniente a este Orden, aún queda mucho por descubrir.

La clave de identificación en sí resulta muy fácil de seguir aún para estudiantes y personas que no son especialistas en este campo. Representa una herramienta invaluable para

el estudio de los murciélagos, además de ser una obra muy completa y de excelente calidad. Sin embargo, cabe señalar que al comparar la edición actual con la anterior, es notorio que en ésta el listado de especies no incluye sus nombres comunes, los cuales pueden resultar útiles para realizar programas de educación ambiental en las localidades cercanas al hábitat de cada especie. Además, una clara desventaja que presenta la edición actual con respecto a la anterior, es su impresión en papel brillante en lugar de papel mate, el cual refleja la luz dificultando el uso de la guía en condiciones de campo (de noche y utilizando lámparas de cabeza).

Por otra parte, al comparar la guía realizada por estos autores con una de las guías de identificación de mamíferos más conocida: la guía de campo para mamíferos publicada por National Audobon Society, resulta clara la utilidad de tener una guía dicotómica que permite ir paso a paso en el proceso de identificación de los murciélagos, y no sólo un listado de características morfológicas de cada especie que requiere conocimiento previo del orden y que sería necesario haber revisado de antemano. Por lo tanto, esta clave de campo para identificación de los murciélagos de México resulta un texto esencial para la biblioteca de estudiantes interesados en el tema, así como de los mastozoólogos, ecólogos mexicanos y del personal dedicado a la realización de inventarios de especies. La información contenida en ella, permite obtener un panorama amplio de la gran diversidad de murciélagos que habitan en México y de la gran importancia que tiene su conservación.


M. en C. Gabriela Castellanos Morales. Es estudiante de doctorado en el Instituto de Ecología, de la UNAM, donde investiga sobre la evolución y la genética de la conservación de diferentes mamíferos, principalmente de los perritos de las praderas.



Nada Tiene Sentido en la Genética de Poblaciones sino es a la luz de la ecología

Trabajo de tesis de licenciatura de Jonás Aguirre Liguori. 2012. Genética de poblaciones y filogeografía de Fouquieria shrevei *(Familia Fouquieriaceae), especie gipsófila endémica de Coahuila. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. Director de tesis Enrique Scheinvar.*

En una publicación de 1973, Dobzhansky certeramente afirmó que nada en la biología tiene sentido si no es a la luz de la evolución. Esta celebre frase fue parafraseada con sentido del humor por Lynch en 2007, quien afirmó que nada en evolución tiene sentido si no es a la luz de la genética de poblaciones. Esta última disciplina tiene como objetivo entender como se distribuye la variación genética en las poblaciones, y entender que fuerzas evolutivas han sido las responsables, mostrando su importancia en el estudio evolutivo.

Para entender mejor el efecto que tienen las propiedades biológicas en la diferenciación genética poblacional, analicé la diversidad genética de *Fouquieria shrevei*, perteneciente a la familia Fouquieriaceae (figura 1). *Fouquieria shrevei* es una especie endémica de Coahuila cuya característica más interesante es que es



Figura 1a. La planta *Fouquieria shrevei* crece en suelos de yeso de Cuatro Ciénegas, Coahuila. Foto: J. Aguirre L.



Figura 1b. Flores de *Fouquieria shrevei* de islas de yeso de Cuatro Ciénegas, Coahuila. Foto: E. Sheinvar.

gipsófila, es decir que únicamente crece en suelos que contienen altos niveles de yeso. Estos suelos son muy restrictivos, por ejemplo, por sus características físicas es difícil que germinen las semillas y químicamente son muy peculiares, es decir tienen altos niveles de sulfuro y bajas concentraciones de macronutrientes. Debido a estas cualidades solo pueden crecer plantas tolerantes o adaptadas. Estos suelos ricos en yeso se depositan en manchones a lo largo de los desiertos, y las plantas que crecen en ellos se caracterizan por presentar distribuciones muy fragmentadas, asemejando la distribución de poblaciones en islas, nada más que en este caso metafóricamente, la isla es el yacimiento de suelo con yeso y el mar es el suelo que los rodea. El objetivo de mi trabajo fue entender el papel que juega esta fragmentación en la distribución de la variación genética de *F. shrevei*, considerando que sus livianas semillas se dispersan por viento, lo que podría promover el flujo genético.

De acuerdo con estas características, propuse dos posibles escenarios opuestos como hipótesis: si la dispersión de semillas es frecuente en esta especie, entonces debería de

haber elevado flujo genético entre las poblaciones, sobre todo considerando que están cercanas geográficamente. Por el contrario, si la fragmentación de las poblaciones es el factor más relevante, entonces esperaríamos que hubiera mucha diferenciación genética entre ellas.

La variación genética de *Fouquieria shrevei*

Para entender el efecto que tienen las características ecológicas de *F. shrevei* en el flujo genético que mantienen sus poblaciones, analicé genéticamente a cinco de ellas. Recolecté muestras de casi toda el área de distribución de la especie, utilizando marcadores de cloroplasto que son los que narran la migración de la semilla, ya que se heredan por vía materna. También llevé a cabo análisis filogeográficos (ver artículo de Ariadna Morales en éste número) para determinar la relación de ancestría de los alelos en su contexto geográfico, y entender cual ha sido la dinámica de las poblaciones en relación con los cambios ambientales. Haciendo uso de métodos evolutivos llamados "de coalescencia" y apoyándome en bases de datos climáticos actuales y del pasado, busqué determinar el cambio en el tamaño poblacional de la especie, al igual que el cambio de su distribución potencial en el pasado y en el presente. Finalmente, revisé las relaciones de ancestría entre los alelos, para entender en que sentido han evolucionado las poblaciones.

Encontré muchas variantes alélicas, especialmente considerando que utilicé relativamente pocas poblaciones y que la especie tiene una distribución muy restringida. Estas variantes se diferenciaron entre si por mutaciones que se llevaron a cabo en varios pasos, lo que sugiere que, para diferenciarse, transcurrió mucho tiempo, ya que los marcadores de cloroplasto cambian muy lentamente. Todas las poblaciones, salvo dos, presentaron un sólo alelo (figura 2), sugiriendo que la deriva génica, esto es la fijación de los alelos por efecto del azar cuando las poblaciones son pequeñas, ha operado intensamente en su proceso evolutivo. De todas las poblaciones que analizamos, únicamente un alelo fue compartido en tres que se encuentran en el mismo valle, y todas las demás tuvieron alelos únicos. Esto se vio reflejado en altos niveles de diferenciación genética entre las poblaciones, indicando que no mantienen flujo genético entre ellas, sobre todo considerando su cercanía.

Al analizar las relaciones evolutivas entre los alelos y la distribución geográfica, encontré que los alelos más parecidos son los que están más cercanos geográficamente. Esto indica que primero hubo un proceso de colonización entre poblaciones cercanas y luego una subsecuente diferenciación por mutación. Considerando estos datos genéticos, y que *F. shrevei*, se dispersa por viento aprovechando los vientos bruscos que ocurren en la región, propuse que la colonización de nuevos parches ha ocurrido a partir de poblaciones cercanas. Sin embargo, estos eventos deben ser raros, por lo que por deriva génica y mutación esas poblaciones se han diferenciado en un proceso *stepping-stone*, que se refiere a la colonización, paso a pasito, de las "islas" más cercanas.

Las islas de yeso ¿refugios pleistocénicos?

Mis análisis de coalescencia indican que las poblaciones se han mantenido estables a lo largo del tiempo, sin importar los cambios ambientales del Pleistoceno, periodo en el que los desiertos de Norte América se supone fueron más húmedos. Esto es una paradoja, ya que los suelos yesíferos sólo pueden existir en condiciones de aridez, dado que se disuelven con facilidad en sitios húmedos. Éste resultado sólo podría explicarse si en el sitio hubiera exis-

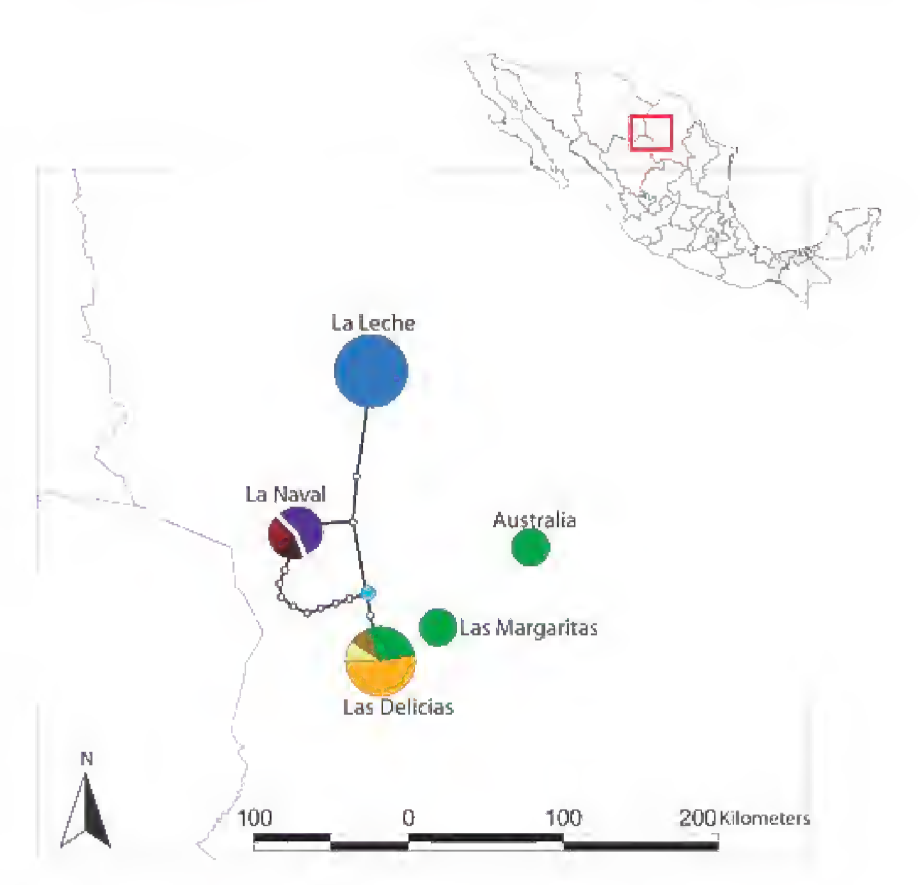


Figura 2. Distribución de los alelos y sus relaciones de ancestría. La línea negra y puntos blancos indican pasos mutacionales. El único alelo compartido es el verde que se encontró en el valle del Hundido.

tido un refugio Pleistocénico, es decir que las condiciones no hubieran cambiado, y que las plantas desérticas se hubieran establecido ahí "refugiándose" de las condiciones ambientales adyacentes. Esto último ha sido la hipótesis de algunos autores, pero no se ha demostrado totalmente. Dado que no existe registro fósil de plantas gipsófilas que nos permitan confirmar esta observación, llevé a cabo un modelo de distribución al pasado y al presente para ver si en efecto, su distribución no ha cambiado. Los análisis sugieren que las poblaciones existentes, salvo la de la localidad denominada La Leche, se han mantenido iguales desde el Pleistoceno, respaldando la hipótesis del refugio (figura 3). Sin embargo, ha habido una expansión de la distribución potencial de la especie hacia el norte, con la que se fundó la población La Leche (figura 3), seguramente mediante la dispersión de las semillas, de acuerdo al modelo que sugerí anteriormente.

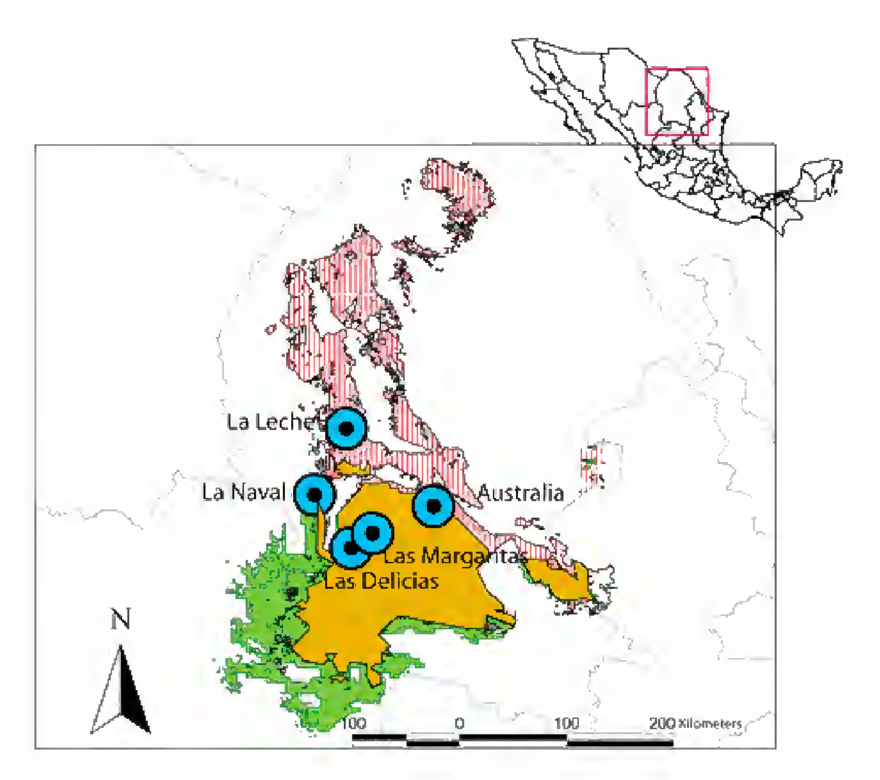


Figura 3. Modelos de distribución de la *F. shrevei*. Las líneas rojas indican la distribución potencial actual. Las cuadricula verde indica la distribución potencial en el pleistoceno (hace 18 000 años). El área amarilla representa el área donde se sobreponen las dos distribuciones.

Evolución en suelos de yeso

Encontré que las poblaciones no comparten alelos, lo que indica que el aislamiento geográfico entre las poblaciones ha influido sustancialmente en su distribución, demostrando que la gipsofilia, promueve la diferenciación genética de las poblaciones de esta especie. No es posible generalizar este fenómeno, pero sería importante ver si otros factores que también restringen las poblaciones de otras especies, como por ejemplo cualquier factor que genere parches, tienen el mismo efecto en la diferenciación genética.

Mi trabajo muestra que conocer la ecología de los organismos ayuda a entender como operan las fuerzas evolutivas (en este caso el flujo genético) en las poblaciones, lo que nos ayuda a dilucidar los procesos evolutivos de las especies. Considerando esto, podemos parafrasear a Lynch diciendo que nada tiene sentido en la genética de poblaciones si no es a la luz de la ecología.

Para saber más

- Dobzhansky, T. 1973. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, 35: 125-129.
- Lynch, M. 2007. The frailty of adaptive hypotheses for the origins of organismal complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 104: 8597-8604.
- Meyer, S.E. 1986. The ecology of gypsophile endemic in the Eastern Mojave Desert. *Ecology*, 67: 1303-1313. (Éste me gusta porque describe bastante bien que es la gipsofilia. Da una muy bonita explicación de los modelos de refugio y especialista de las plantas gipsófilas).
- Moore, M.J. y R.K. Jansen. 2007. Origins and biogeography of gypsophily in the Chihuahuan desert plant group Tiquilla subg. Eddya (Boraginaceae). *Systematic Botany*, 32: 392-414. (Éste me parece interesante porqué habla de la historia del desierto Chihuahuense, y también sobre plantas gipsófilas. Hace también un análisis filogenético del subgénero).







Agosto 2012 No. 6

Contenido